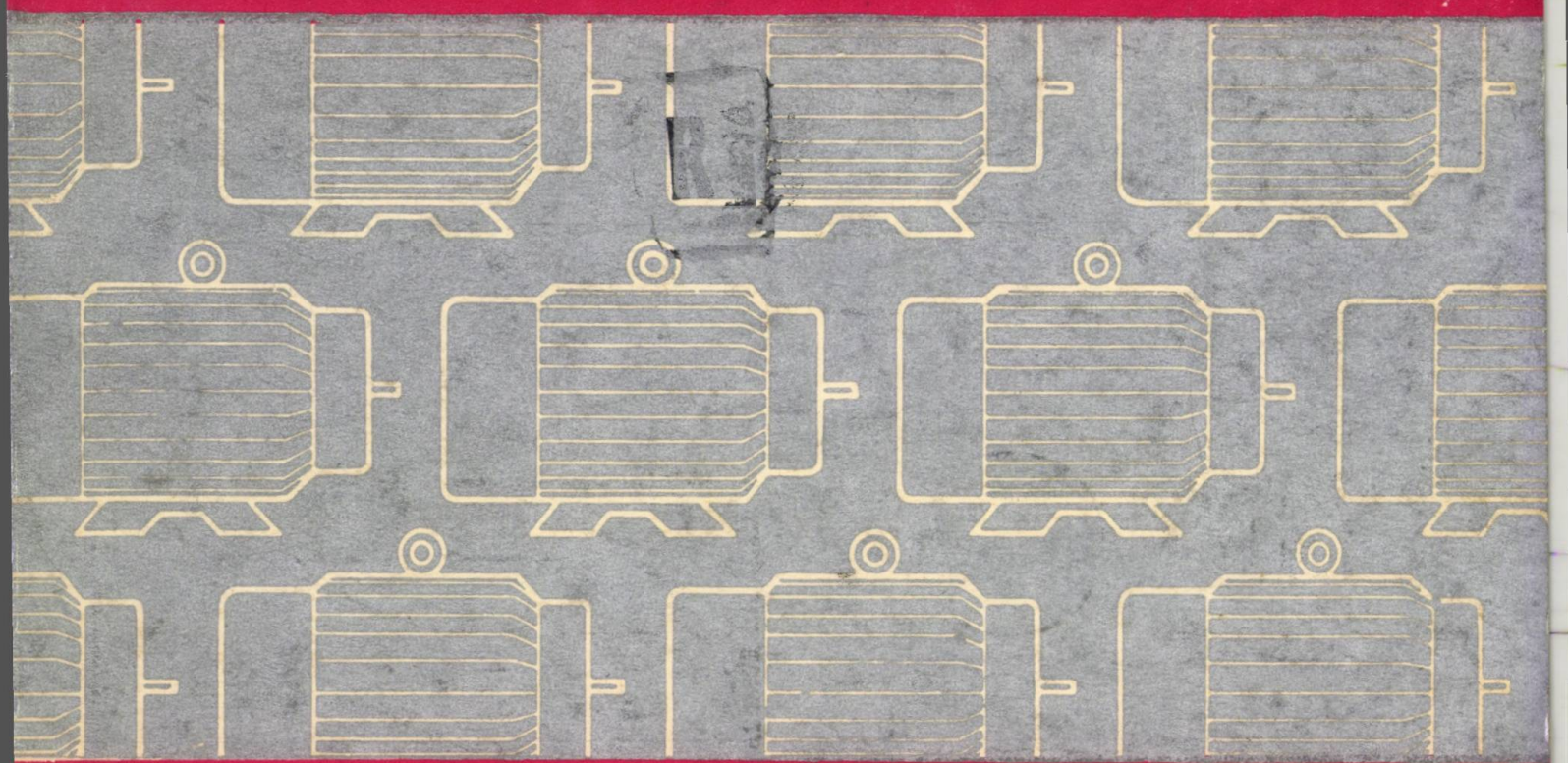
E 2040

REFERÁLVA

ELECTROTEHNICA



ELECTROTEHNICA • BUCUREȘTI • ANUL 17 • Nr. 1 • IANUARIE 1969

1

IPRS băneasa

ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

Str. Erou Iancu Nicolae, nr. 32, sector 2, telefon : 33.38.30 — telex : 011203

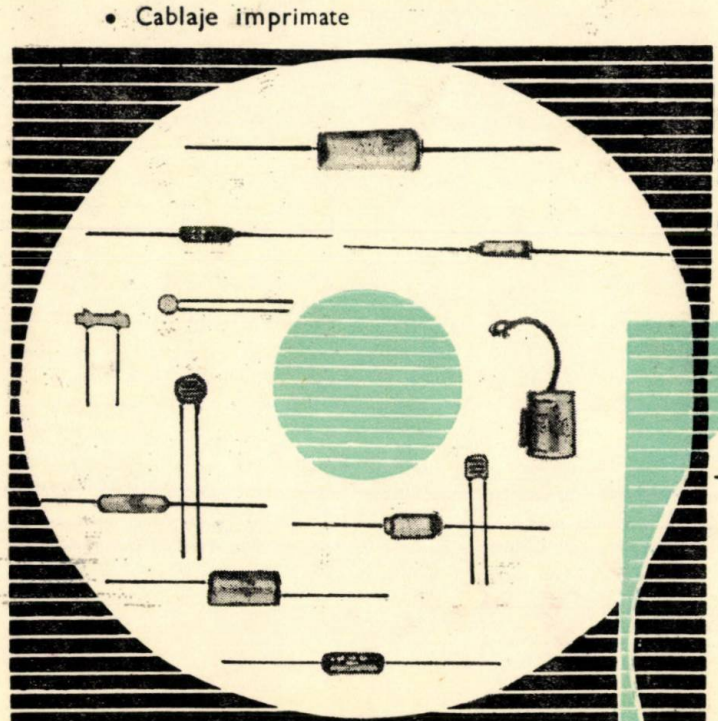
PRODUCE :

PIESE RADIO :

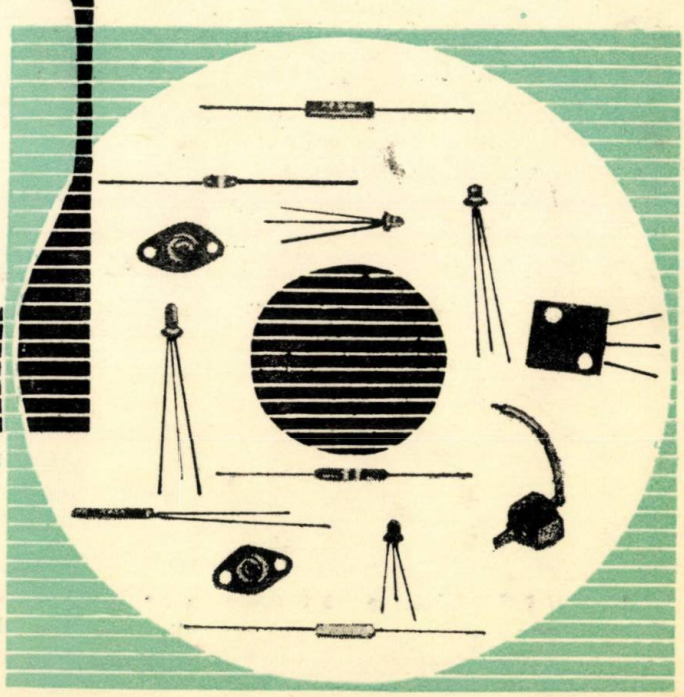
- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice
- Condensatoare hîrtie - uz general
- Condensatoare hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate

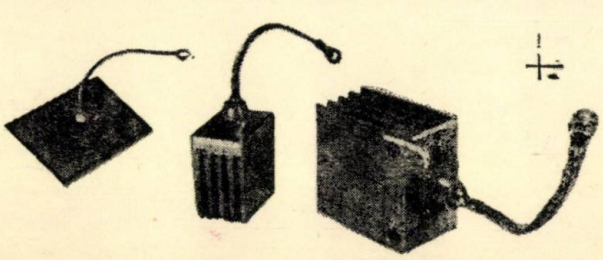
DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE :

- Transistoare cu germaniu, de joasă frecvenţă
  - — de mică putere
  - — de medie putere
  - — de putere
- Transistoare cu germaniu de înaltă frecvenţă
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu cu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere
- Diode Zener de mică putere



PENTRU INFORMAŢII SUPLIMENTARE CONSULTAŢI CATALOAGELE NOASTRE





E 2040

ELECTROTEHNICA

Anul 17 Nr. 1, p. 1—44 ianuarie 1969

CUPRINS

CZ 621.3.011 :538.551.23 :681.322

Stănciulescu, Fl. : **Probleme privind electrotehnica circuitelor şi mediilor neliniare şi rezolvarea lor prin procedee de calcul digital.**

Electrotehnica **17**, nr. 1, ianuarie 1969, p. 1—10

Se formulează ecuaţiile fundamentale ale circuitelor electrice cu elemente neliniare şi ale cîmpului electromagnetic în medii neliniare. Se elaborează un model matematic şi un algoritm de calcul unitar, care împreună constituie un procedeu de calcul digital. Se dau aplicaţii pe calculatorul digital ELLIOTT 803.

CZ 621.313.32.016.34/35 :621.3.072.2

Zickman, M. : **Reglajul unghiului rotoric, domeniul de aplicaţie şi cerinţe impuse instalaţiilor de excitaţie a generatoarelor sincrone.**

Electrotehnica **17**, nr. 1, ianuarie 1969, p. 11—18

În cadrul articolului se prezintă necesitatea, avantajele şi modul de realizare a reglajului unghiului rotoric la generatoarele sincrone de puteri mari. În continuarea articolului din Electrotehnica 16, nr. 10, 1968, în care s-au arătat sistemele de excitaţie ale generatoarelor sincrone se prezintă cerinţele şi comportarea în exploatare a acestor instalaţii.

CZ 621.314.211/212.027.84 :621.317.333

Mathé, B. : **Calculul solicitării izolaţiei transformatoarelor de înaltă tensiune şi mare putere cu borna de intrare la mijlocul înfăşurării.**

Electrotehnica **17**, nr. 1, ianuarie 1969, p. 18—24

Se prezintă modelul matematic al înfăşurării transformatorului cu borna de intrare la mijloc, iar fenomenul tranzitoriu de impuls (de unde rezultă solicitările izolaţiei) se studiază pe cale analitică şi cu ajutorul maşinilor electronice cifrice. Valorile gradienţilor (solicitarea izolaţiei longitudinale a transformatorului), dar în special a potenţialelor (solicitarea izolaţiei principale a transformatorului), corespund cu cele măsurate direct pe modelele electromagnetice (combinate) realizate în uzină.

CZ 621.315.615 + 618.015.51 :537.523.3

Tănăsescu, Fl. : **Oscilograme caracteristice pentru descărcările parţiale ce se dezvoltă în aer şi ulei.**

Electrotehnica **17**, nr. 1, ianuarie 1969, p. 24—30

Aerul şi uleiul, ca dielectrici, intră în compoziţia multora dintre echipamentele de înaltă tensiune. Cum siguranţa în funcţionare a acestora este în ultimă instanţă funcţie de izolant, depistarea descărcărilor parţiale în această etapă premergătoare străpungerii dielectricului poate da indicaţii deosebite constructorului sau celor din exploatare, atît în privinţa surselor de descărcări, cît şi a stării izolaţiei.

După prezentarea unor elemente ale schemei de măsură utilizate, a elementelor ei componente, se prezintă oscilograme caracteristice pentru descărcările în cele două medii, aerul şi uleiul, arătîndu-se elementele specifice fiecăruia. Diferenţierea dintre cele două genuri de impulsuri fiind evidentă, se pot stabili oscilograme caracteristice pentru descărcarea în aer şi ulei, oferind posibilitatea stabilirii, după impulsul înregistrat pe un oscilograf, a mediului în care are loc descărcarea.

CZ 621.317.42.001.57 :538.632

Şora, C. şi *Dobre Silvia* : **Studiul cîmpului electric din plăci Hall avînd o formă oarecare, cu ajutorul unei modelări electrocinetice.**

Electrotehnica **17**, nr. 1, ianuarie 1969, p. 31—36

Se analizează posibilitatea de a studia cîmpul electric din plăci Hall avînd o formă oarecare, cu ajutorul unei modelări electrocinetice. Rezultatele experimentale prezentate la sfîrşitul lucrării constituie o confirmare a consideraţiilor teoretice expuse.

RECENZII 37—38
REFERATE 38—41
CRONICA 42—43

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.3.011:538.551.23 :681.322
Стэнчиулеску, Фл., **Проблемы электвотехники нелинейных контуров и сред, и разрешение их способом числового расчета.**
Electrotehnica **17**, nr. 1, янбарь. 1969, стр. 1–10

Формулируются фундаментальные уравнения электрических контуров с нелинейными элементами и электромагнитного поля в нелинейной среде. Разработаны математическая модель и алгорифмы единого расчета, составляющие вместе способ числевого расчета. Показана применимость на числовом счётном устройстве ЕЛЛИОТТ 803

ЕК 621.313.32.016.34/35 :621.3.072.2
Зукман, М.: **Регулирование угла ротора, область применения и требования, предьявляемые установкам возбуждения синхронных генераторов.**
Electrotehnica **17**, nr. 1, янбарь. 1969, стр. 11–18

В статье описана необходимость, преимущества и способ осуществления регулирования угла ротора на синхронных генераторах высокой мощности. В продолжение статьи, опубликованной в Electrotehnica **16**, nr. 10, 1968, в которой были приведены системы возбуждения синхронных генераторов, излагаются требования и поведение в эксплуатации этих установок.

ДК 621.314.211/212.027.84 :621.317.333
Мате, Б.: **Расчет нагрузки изоляции трансфовматоров высокого напяжения и мощности с вводным зажимом посередине обмотки.**
Electrotehnica **17**, nr. 1, янбарь. 1969, стр. 18–24

Приводится математическая модель обмотки трансформаторов с вводным зажимом посередине, причем колебательный процесс импульса (от которого исходят нагрузки изоляции) изучается аналитическим путем и при помощи числовых электронных машин. Величины градиентов (нагрузка продольной изоляции трансформатора) и, главным образом, потенциалов (нагрузка основоной изоляции трансформатора), отвечают величинам, измеряемым непосредственно на электромагнитных модулях (комбинированных), осуществленых на заводе.

ДК 621.315.615+618.015.51 :537.523.3
Тэнэсеску, Фл.: **Осцилограммы, характерные для частичных разрядов, происходящих в воздухе и масле.**
Electrotehnica nr. **17**, nr. 1, янбарь. 1969, стр. 24–30

Воздух и масло, в качестбе диэлектриков, входят в состав многих установок высокого напряжения. Поскольку надежность в их работе является, в последней инстанции, функцией изоляционного материала, выявление частичных разрядов в этой стадии, предшествующей пробой диэлектрика, может дать полезные указания строителям или работникам при эксплуатации, как с точки зрения источников разряда, так и в отношении состояния изоляции.

После изложения некоторых элементов применяемой схемы измерения, составных элементов, приводятся осцилограммы, характерные для разрядов в воздухе и масле, подчеркивая специфические элементы. Поскольку разница между этими двумя видами импульсов очевидна, можно установить осцилограммы, характерные для разряда в воздухе и масле с возможностью определения, по импульсу, записанному на осцилографе, среды, в которой происходит разряд.

ДК 621.317.42.001.57 :538.632
Шора, К. и *Добре Сильвия:* **Изучение электрического поля на пластинах Галля любой формы при помощи электрокинематиьеского моделирования.**
Electrotehnica **17**, nr. 1, янбарь. 1969, стр. 31–36

Рассматривается возможность изучения электрического поля на пластинах Галля любой формы, при помощи электрического моделирования. Экспериментальные результаты, представленные в конце работы, подтверждают изложенные теоретические соображения.

РЕЦЕНЗИИ 37–38
ДОКЛАДЫ 38–41
ХРОНИКА 42–43

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.3.011 :538.551.23 :681.322

Stănciulescu, Fl. : **Aufgaben bzgl. der Stromkreize und der nichtlinearen Medien der Elektrotechnik und deren Lösung mittels digitaler Berechnungsmethoden.**
Electrotehnica **17**, H. 1, Januar 1969, S. 1–10

Formuliert werden die Grundgleichungen der elektrischen Stromkreise mit nichtlinearen Elementen sowie diejenigen des elektromagnetischen Feldes in nichtlinearen Medien.

Es wird ein mathematisches Modell und ein Algorithmus der Einheitsrechnung ausgearbeitet, welche zusammen eine digitale. Rechnungsmethode darstellen. Es werden Anwendungen auf dem digitalem Kalkulator Elliott 803 angegeben.

DK 621.313.32.016.34/85 :621.3.072.2

Zickman, M. : **Die Regelung des Rotorwinkels, Anwendungsgebiet und Forderungen die an die Erregereinrichtungen der Synchrongeneratoren gestellt werden.**
Electrotehnica **17**, H. 1, Januar 1969, S. 11–18

Der Aufsatz führt die Notwendigkeit, die Vorteile und Durchführung der Regelung des Rotorwinkels bei Synchrongeneratoren grosser Leistungen vor. Im Zusammenhang mit dem Aufsatz aus der Electrotehnica 16, nr. 10, 1968, der die Erregersysteme der Synchrongeneratoren behandelt, werden hier die an diese Einrichtungen gestellten Bedingungen sowie deren Verhalten im Betrieb besprochen.

DK 621.314.211/212.027.84 :621.317.333

Mathé, B. : **Die Berechnung der Isolationsbeanspruchung bei Hochspannungstransformatoren grosser Leistung mit der Eingangsklemme in der Mitte der Wicklung.**
Electrotehnica **17**, H. 1, Januar 1969, S. 18–24

Gezeigt wird das mathematische Modell der Wicklung von Transformatoren mit der Eingangsklemme in der Mitte. Der Uebergangsvorgang des Impulses (woraus die Beanspruchungen der Isolation hervorgehen) wird auf analytischem Weg mit Hilfe von numerischen elektronischen Rechenmaschinen behandelt. Die Gradientenwerte (die Beanspruchung der Längsisolation des Transformators) und besonders diejenigen der Potentiale (die Beanspruchung der Hauptwicklung des Transformators) stimmen mit denen, die direkt auf den im Werk hergestellten (kombinierten) elektromagnetischen Modellen gemessen wurden, überein.

DK 621.315.615+618.015.51 :537.523.3

Tănăsescu, Fl. : **Charakteristische Oszillogramme für Teilentladungen, die in Luft und Oel vor sich gehen.**
Electrotehnica **17**, H. 1, Januar 1969, S. 24–30

Als Dielektrika bilden die Luft und das Oel den Bestand vieler Hochspannungsausrüstungen. Nachdem der Betrieb dieser Ausrüstungen letzten Endes vom Isoliermaterial abhängt, kann die Feststellung der Teilentladungen in dieser Periode, die dem Durchschlag des Dielektrikums vorangeht, dem Entwurfs-oder dem Betriebspersonal wertvolle Hinweise geben und dies sowohl bzgl. der Entladungsursachen als auch des Isolierzustandes.

Nach Darstellung einiger Elemente des verwendeten Messungsschemas sowie deren Bestandteile werden charakteristiche Oszillogramme für die Entladungen in den zwei Medien, Luft und Oel sowie deren spezifischen Eigenschaften gezeigt. Nachdem der Unterschied zwischen den beiden Impulsarten offenbar ist, können charakteristische Oszillogramme der Entladungen in Luft bzw. Oel aufgenommen werden und dadurch, auf Grund des auf einem Oszillograph aufgenommenen Impulses, das Medium feststellen, in dem die Entladung stattfand.

DK 621.317.42.001.57 :538.632

Şora, C. und *Dobre Silvia* : **Die Untersuchung des elektrischen Feldes in Hall-Platten irgendwelcher mit Hilfe einer elektrokinetischen Modulation.**
Electrotehnica **17**, H. 1, Januar 1969, S. 31–36

Behandelt wird die Möglichkeit, das elektrische Feld in Hall-Platten beliebiger Form mit Hilfe einer elektrokinetischen Modulation zu untersuchen. Die erzielten experimentallen Resultate am Schluss der Darstellung bestätigen die theoretischen Annahmen.

BUCHBESPRECHUNGEN 37–38
REFERATE 38–41
CHRONIK 42–43

CONTENTS

DC 621.3.011:538.551.23 :681.322

Stănciulescu, Fl. : **Problems concerning the electrotechnics of the unlinear circuits and media and their solving by means of digital calculus processes.**

Electrotehnica **17**, no. 1, Jan. 1969, p. 1–10

The fundamental equations of the electric circuits with unlinear elements and of the electromagnetic field in unlinear media are formulated.

A mathematical model and an algorithm of unitary calculus forming together a process of digital calculus was drawn out.

Practical applications on the digital computer Elliot 803 are given.

DC 621.313.32.016.34/35 :621.3.072.2

Zickman, M. : **Adjusting of rotor angle, field of application and requirements demanded from excitation installations of synchronous generators.**

Electrotehnica **17**, no. 1, Jan. 1969, p. 11–18

This paper shows the necessity, advantages and mode of achieving the adjustment of the rotor angle in high power synchronous generators. Following the paper in Electrotehnica 16, no. 10, 1968, in which the systems of excitation of synchronous generators were shown, the requirements and behaviour of these installations in exploitation are presented.

DC 621.314.211/212.027.84 :621.317.333

Mathé, B. : **Computation of stain on insulation of high power high voltage transformers having their input terminal at the middle of the winding.**

Electrotehnica **17**, no. 1, Jan. 1969, p. 18–24

The mathematical model of the winding for the transformer with middle input terminal is shown, and the impulse transitory phenomenon (causing the insulation strain) is studied analytically and by means of digital electronic computers. The value of the gradients (strain of transformer longitudinal insulation) and particularly those of the potentials (strain of transformer main insulation) correspond to those measured directly on the (combined) electromagnetic models achieved in the plant.

DC 621.315.615+618.015.51 :537.523.3

Tănăsescu, Fl. : **Characteristic oscillograms for the partial discharges occurring in air and oil.**

Electrotehnica **17**, no. 1, Jan. 1969, p. 24–30

Air and oil, as dielectrics, enter in the composition of many of the high voltage equipments. Since their safety in operation is, in the last resort, a function of the insulator, the tracing of partial discharges at this forerunning stage of dielectric piercing may give important indications to the designer or to the staff in the field, both as regards the sources of discharge and the condition of the insulation.

After showing some elements of the measuring diagram used, and of its components, characteristic oscillograms are presented for discharges in both media, air and oil, the specific elements of each being shown. The difference between the two kinds of impulses being obvious, characteristic oscillograms can be determined for discharge in air and oil, the possibility being offered to establish, from the impulse recorded by an oscillograph, the medium in which the discharge occurs.

DC 621.317.42.001.57 :538.632

Şora, C. and *Dobre Silvia* : **Studying the electric field in Hall plates of whatever form by means of electrokinetic modulations.**

Electrotehnica **17**, no. 1, Jan. 1969, p. 31–36

The possibility is discussed of studying the electric field in the Hall plates of whatever form by means of an electrokinetic modeling. The experimental results presented in the final part of the paper substantiate the theoretical considerations exposed.

REVIEWS 37–38
REPORTS 38–41
CHRONICLES 42–43

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 nr. 1 București, ianuarie 1969

MUZEUL ȘTIINȚELOR ... BUCUREȘTI

Probleme privind electrotehnica circuitelor și mediilor neliniare și rezolvarea lor prin procedee de calcul digital

Florin Stănciulescu* — București

CZ 621.3.011 : 538.551.23 : 681.322

Această lucrare tratează probleme care se încadrează într-un capitol mai nou al electrotehnicii moderne, denumit *electrotehnica neliniară* [2] — [5]. Aceste probleme sînt cele care privesc calculul și proiectarea circuitelor electrice cu elemente neliniare (rezistențe, inductivități și capacități neliniare), inclusiv regimul tranzitoriu, optimizarea parametrilor și studiul stabilității circuitului. Prezintă un mare interes practic calculul și proiectarea circuitelor cu rezistențe neliniare, bobine cu miez de fier saturate, circutelor ferorezonante sau al celor cu condensatoare neliniare.

Tot în electrotehnica neliniară se încadrează problemele privind cîmpul electromagnetic în medii neliniare, inclusiv studiul regimului tranzitoriu al pătrunderii și difuziei cîmpului în aceste medii. Distingem trei clase de medii electromagnetice avînd un pronunțat caracter neliniar : feromagnetice, semiconductoare și dielectrice neliniare.

Permeabilitatea neliniară a mediilor feromagnetice își are originea în mișcarea pereților domeniilor și în rotația domeniilor în cîmpul de anizotropie. Ea interesează în primul rînd concepția și proiectarea mașinilor electrice și a amplificatoarelor magnetice.

Neliniaritatea semiconductoarelor (dioda redresoare, dioda tunel, transistorul), care este legată de transparența barierei de potențial, interesează proiectarea schemelor de automatizări și acționări electrice.

Permitivitatea neliniară a unor dielectrici, între care pot fi încadrați feroelectricii, interesează proiectarea anumitor circuite neliniare.

1. Ecuațiile fundamentale ale circuitelor cu elemente neliniare

La baza ecuațiilor fundamentale ale circuitelor cu elemente neliniare se află cele două teoreme fundamentale ale lui Kirchhoff, reconsiderate în lumina neliniarității fenomenelor.

Cercetările teoretice și experimentale au arătat că pentru elementele neliniare rezistive, relația între căderea de tensiune u_r și curentul de conducție i este de forma :

$$u_r = r(i) \cdot i(t). \tag{1}$$

În cazul inductivităților neliniare această legătură se exprimă astfel :

$$u_l = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \{l(i) \cdot i(t)\}. \tag{2}$$

În cazul capacităților neliniare este corect a se vorbi de o dependență între căderea de tensiune și tensiunea aplicată la borne, astfel încît relația de legătură este :

$$u_c = \frac{q}{c(u_c)} = \frac{\int_0^t i\,\mathrm{d}t}{c(u_c)}. \tag{3}$$

Se constată că enunțul teoremei 1-a a lui Kirchhoff nu este invalidat de neliniaritatea conductoarelor concurente în nodurile unei rețele (fig. 1), astfel încît ca și în electrotehnica clasică, în electrotehnica neliniară :

$$\sum_{k=1}^{m} i_k(t) = 0,$$

valabilă în regim cvasistaționar.

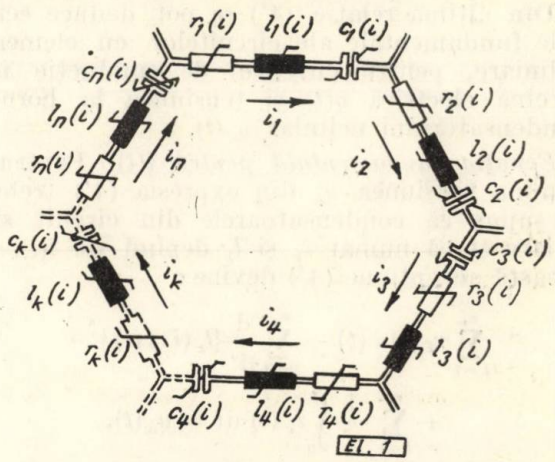


Fig. 1. O rețea electrică, cu elemente neliniare.

* Ing. *Fl. Stănciulescu* este șeful laboratorului de analiză tehnico-matematică din I.C.P.E.

Teorema a 2-a capătă însă în electrotehnica neliniară un conţinut mai bogat, care reflectă neliniaritatea fenomenelor : „tensiunea electromotoare în lungul unui ochi k al unei reţele cu elemente neliniare este egală cu suma căderilor de

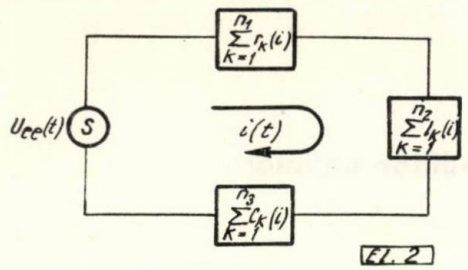


Fig. 2. Circuit neliniar serie.

tensiune în rezistenţele neliniare şi în capacităţile neliniare ale ochiului".
Aşadar (fig. 1) :

$$\sum_{k=1}^{n_1} r_k(i_k)\, i_k(t) + \sum_{k=1}^{n_2} \frac{1}{c_k(u_k)} \int_0^t i_k(t)\,\mathrm{d}t = u_{ek},$$

unde :

$$u_{ek} = u_{ec} - \sum_{k=1}^{n_2} \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \{l_k(i_k)\, i_k(t)\}.$$

Rezultă în final :

$$\sum_{k=1}^{n_1} r_k(i_k)\, i_k(t) + \sum_{k=1}^{n_2} \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \{l_k(i_k)\, i_k(t)\} + \sum_{k=1}^{n_3} \frac{1}{c_k(u_k)} \int_0^t i_k(t)\,\mathrm{d}t = u_{ec}(t). \qquad (4)$$

În cazul unui circuit neliniar serie (o buclă neliniară, fig. 2), relaţia (4) ia forma :

$$\sum_{k=1}^{n_1} r_k(i)\, i(t) + \sum_{k=1}^{n_2} \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \{l_k(i)\, i(t)\} + \sum_{k=1}^{n_3} \frac{1}{c_k(u_c)} \int_0^t i(t)\,\mathrm{d}t = u_{ec}(t). \qquad (4')$$

Din ultima relaţie (4') se pot deduce ecuaţiile fundamentale ale circuitelor cu elemente neliniare, pentru curentul de conducţie $i(t)$, sarcina electrică $q(t)$ şi tensiunea la bornele condensatorului neliniar $u_c(t)$.

Ecuaţia fundamentală pentru $i(t)$. Pentru a elimina tensiunea u_c din expresia (4') trebuie presupus că condensatoarele din circuit sînt liniare şi că numai r_k şi l_k depind de $i(t)$. În această accepţiune (4') devine :

$$\sum_{k=1}^{n_1} r_k(i)\, i(t) + \sum_{k=1}^{n_2} \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \{l_k(i)\, i(t)\} + \sum_{k=1}^{n_3} \frac{1}{c_k} \int_0^t i_k(t)\,\mathrm{d}t = u_{ec}(t),$$

unde $c_k = \text{const}$.

Dacă ultima relaţie se derivează în raport cu t, se găseşte (după regruparea termenilor) ecuaţia diferenţială neliniară de ordinul 2 :

$$f(i)\frac{\mathrm{d}^2 i}{\mathrm{d}t^2} + g(i)\left(\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\right)^2 + h(i)\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + j(i)\, i(t) = \Omega(t), \qquad (5)$$

în care :

$$f(i) = \sum_{k=1}^{n_2} \left\{ l_k(i) + i(t)\frac{\mathrm{d}l_k}{\mathrm{d}i} \right\};$$

$$g(i) = \sum_{k=1}^{n_2} \left\{ 2\frac{\mathrm{d}l_k}{\mathrm{d}i} + i(t)\frac{\mathrm{d}^2 l_k}{\mathrm{d}t^2} \right\};$$

$$h(i) = \sum_{k=1}^{n_2} \frac{1}{c_k} \left\{ \sum_{k=1}^{n_1} \left(T_k(i) + i(t)\frac{\mathrm{d}T_k}{\mathrm{d}i} \right) \right\},$$

$$T_k = r_k(i) \sum_{k=1}^{n_3} \frac{1}{c_k};$$

$$j(i) = \sum_{k=1}^{n_3} \frac{1}{c_k};$$

$$\Omega(t) = \frac{\mathrm{d}u_{ec}}{\mathrm{d}t}.$$

Ecuaţia (5) descrie comportarea tranzitorie a curentului de conducţie în circuitele cu rezistenţă şi inductivitate neliniare, şi cu capacitate liniară.

Ecuaţia fundamentală pentru $q(t)$. Ţinînd seamă că :

$$i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = \dot{q},$$

din (4') rezultă :

$$\sum_{k=1}^{n_1} r_k(\dot{q})\,\dot{q} + \sum_{k=1}^{n_2} \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \{l_k(\dot{q})\,\dot{q}\} + \sum_{k=1}^{n_3} \frac{q}{c_k(q)} = u_{ec}(t).$$

Dacă se dezvoltă derivata în raport cu t din primul membru al ultimei relaţii şi se ordonează termenii, rezultă ecuaţia diferenţială neliniară de ordinul 2 :

$$F(\dot{q})\,\ddot{q} + G(\dot{q})\,\dot{q} + H(q)\,q = u_{ec}(t), \qquad (6)$$

unde :

$$F(\dot{q}) = \sum_{k=1}^{n_2} (l_k(\dot{q}) + \dot{q} l_k';$$

$$G(\dot{q}) = \sum_{k=1}^{n_1} r_k(\dot{q});$$

$$H(q) = \sum_{k=1}^{n_3} \frac{1}{c_k(q)}.$$

Ecuaţia (6) descrie comportarea tranzitorie a sarcinii electrice în circuitele cu elemente neliniare.

Ecuația fundamentală pentru $u(t)$. Dezvoltînd în serie Taylor $r_{kj}(i)$ și $l_{kj}(i)$ și reținînd numai termenii semnificativi, rezultă:

$$r_{kj}(i) = \sum_{j=1}^{m} a_{kj} i^j;$$
$$l_{kj}(i) = \sum_{j=1}^{n} b_{kj} i^j. \tag{7}$$

Ținînd seamă că $q = c(u).u(t)$, se obține:

$$i = \frac{dq}{dt} = (c + c' . u)\frac{du}{dt}.$$

Înlocuind în (4') și ținînd seamă de (7), rezultă:

$$\sum_{k=1}^{n_1}\sum_{j=1}^{m} a_{kj}(c + c' u)^{j+1}\left(\frac{du}{dt}\right)^{j+1} + \sum_{k=1}^{n_2}\sum_{j=1}^{n}\frac{d}{dt}\left\{b_{kj} \times \right.$$
$$\left. \times (c + c'u)^{j+1}\left(\frac{du}{dt}\right)^{j+1}\right\} + \sum_{k=1}^{n_3}\frac{\int_0^t (c + c'u)\,du}{c(u)} =$$
$$= u_{ee}(t) \tag{8}$$

În cazul unui circuit serie cu o rezistență, o inductivitate și o capacitate neliniare, relația (8) se simplifică astfel:

$$\sum_{j=1}^{m} a_j (c + c' u)^{j+1}\left(\frac{du}{dt}\right)^{j+1} +$$
$$+ \sum_{j=1}^{n}\frac{d}{dt}\left\{b_j (c + c'u)^{j+1}\left(\frac{du}{dt}\right)^{j+1}\right\} + u = u_{ee}(t),$$

din care rezultă următoarea formă:

$$\varphi(u, \dot{u})\ddot{u} + \psi(u, \dot{u})\dot{u} + u = u_{ee}(t), \tag{9}$$

unde:

$$\varphi(u, \dot{u}) = \sum_{j=1}^{n}(j+1) b_j (c + c' u)\dot{u}^j;$$
$$\psi(u, \dot{u}) = \sum_{j=1}^{m} a_j (c + c' u)^{j+1}\dot{u}^j +$$
$$+ \sum_{j=1}^{n}(j+1) b_j (2c' u + uc'')\dot{u}^j.$$

Tabela 1 pune în evidență cîteva dintre ecuațiile unor circuite cu elemente neliniare, sau care descriu fenomene cu caracter neliniar. Ele demonstrează valabilitatea ecuațiilor fundamentale (5), (6) și (9) stabilite în lucrare.

Remarcăm că ecuațiile de la punctul 5, 6 și 7 (din tabela 1) au fost stabilite pe baza circuitului neliniar echivalent, al fiecăruia dintre fenomenele studiate. Așadar: modelul matematic care descrie comportarea tranzitorie (la limită, cînd $t \to \infty$ și comportarea în regim staționar) a mărimilor $i(t)$, $q(t)$ și $u(t)$, într-un circuit neliniar se prezintă sub forma unei ecuații diferențiale neliniare de ordinul 2. Pentru corectitudinea punerii problemelor este necesar ca pentru ecuațiile (5), (6) și (9) să se stipuleze condiții inițiale. Astfel pentru (5) sînt

Tabela 1

Nr.	Denumirea mărimii studiate	Modelul matematic corespunzător
1	Tensiune $u(t)$ a oscilatorului electronic neliniar (van der Pol)	$\ddot{u} + \beta(1 - \lambda u^2)\dot{u} + w_0^2 u = \omega_0^2 X \cos \omega t,\ \beta < 0.$
2	Curentul electric $i(t)$ al generatorului de impuls, cu sarcină rezistivă, neliniară	$(K\alpha\, i^{\alpha-1} + R_2)\frac{d^2 i}{dt^2} + K\alpha(\alpha-1) i^{\alpha-2}\left(\frac{di}{dt}\right)^2 +$ $+ \frac{1}{L}\{(R_1 + R_2) K\alpha i^{\alpha-1} + R_1 R_2\}\frac{di}{dt} + \frac{1}{CL}(ki^{\alpha-1} + R_2 i) = 0$
3	Curentul electric de conducție $i(t)$, într-un circuit cu inductivitate neliniară $L(i)$	$(a - 3bi^2)\frac{d^2 i}{dt^2} - 6bi\left(\frac{di}{dt}\right)^2 + R\frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \Omega(t)$
4	Tensiunea $v(t)$ la bornele unei capacități (neliniare) în circuitul serie R,L $C(v)$	$\ddot{v} + \frac{2C' + C'' v}{C + C' v}\dot{v}^2 + \sum_{j=1}^{m}\frac{a_j}{L}(c + c'v)\dot{v}^j + \frac{1}{L(C + C'v)} v = E.$
5	Tensiunea de joncțiune $v(t)$, a unei diode tunel	$\ddot{v} + v(v^2 - 1)\dot{v} + v(\alpha + \beta v^2) = 0$
6	Oscilațiile neliniare ale variației combinației spațiale de electroni $n(x)$, în semiconductoarele cu inundație de purtători	$n\frac{d^2 n}{dx^2} - \left(\frac{dn}{dx}\right)^2 + \frac{i}{KT(\mu_n - \mu_p)}\frac{dn}{dx} = 0$
7	Oscilațiile neliniare continue ale plasmei	$\ddot{f} - \frac{2}{\rho_0 + f}\dot{f}^2 + \frac{\eta}{\varepsilon_0} f(\rho_0 + f) = 0$

necesare condiții pentru $i(0)$ și $i'(0)$, adică trebuie să se dea : $i(0) = i_0$ și $\left.\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\right|_{t=0} = i'_0$. Pentru (6) se va indica : $q(0) = q_0$ și $\left.\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}\right|_{t=0} = q'_0$, în timp ce pentru (9) este necesară cunoașterea lui $u(0) = u_0$ și $\left.\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}\right|_{t=0} = u'_0$.

În aceste condiții existența și unicitatea soluției sînt asigurate.

2. Ecuațiile fundamentale ale cîmpului electromagnetic în medii neliniare

În lucrarea de față ne vom ocupa de medii neliniare izotrope (și în special de cele feromagnetice) pentru care sînt valabile următoarele legi de material [1] :

$$\begin{aligned} \boldsymbol{J} &= \sigma(E)\,\boldsymbol{E}\,; \\ \boldsymbol{D} &= \varepsilon(E)\,\boldsymbol{E}\,; \\ \boldsymbol{B} &= \mu(H)\,\boldsymbol{H}. \end{aligned} \tag{10}$$

Utilizînd legile de material (10), ecuațiile cîmpului electromagnetic în medii neliniare izotrope sînt :

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}\boldsymbol{H} &= \sigma(E)\,\boldsymbol{E} + \frac{\partial}{\partial t}\{\varepsilon(E)\,\boldsymbol{E}\} \\ \operatorname{rot}\boldsymbol{E} &= -\frac{\partial}{\partial t}\{\mu(H)\,\boldsymbol{H}\}. \end{aligned} \tag{11}$$

Dezvoltînd membrii II ai ecuațiilor (11), rezultă :

$$\operatorname{rot}\boldsymbol{H} = \sigma(E)\,\boldsymbol{E} + \left(\frac{\partial E}{\partial t}\boldsymbol{E} - E\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}\right)\frac{\mathrm{d}\varepsilon}{\mathrm{d}E} + \varepsilon_a(E)\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}; \tag{11'}$$

$$\operatorname{rot}\boldsymbol{E} = -\left(\frac{\partial H}{\partial t}\boldsymbol{H} - H\frac{\partial \boldsymbol{H}}{\partial t}\right)\frac{\mathrm{d}\mu}{\mathrm{d}H} - \mu_a(H)\frac{\partial \boldsymbol{H}}{\partial t},$$

unde : $\varepsilon_a(E) = \frac{\mathrm{d}D}{\mathrm{d}E} = \varepsilon(E) + \frac{\mathrm{d}\varepsilon}{\mathrm{d}E}E$ și $\mu_a(H) = \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}H} = \mu(H) + \frac{\mathrm{d}\mu}{\mathrm{d}H}H$, reprezintă permitivitatea și respectiv permeabilitatea dinamică. Forma (11') a ecuațiilor cîmpului poate fi simplificată, dacă se introduce ipoteza suplimentară de calcul că liniile de cîmp ale cîmpurilor $\boldsymbol{H}$ și $\boldsymbol{E}$ sînt invariabile, adică : $\frac{\partial \boldsymbol{H}}{\partial t} \parallel \boldsymbol{H}$ și $\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t} \parallel \boldsymbol{E}$.

Rezultă :

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}\boldsymbol{H} &= \sigma(E)\,\boldsymbol{E} + \varepsilon_a(E)\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}; \\ \operatorname{rot}\boldsymbol{E} &= -\mu_a(H)\frac{\partial \boldsymbol{H}}{\partial t}, \end{aligned} \tag{12}$$

Ecuațiile (12) pot fi particularizate pentru feromagnetici, semiconductoare sau dielectrici neliniari.

Medii feromagnetice (regim cvasistaționar, σ = const.). Ecuațiile (12) iau forma :

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}\boldsymbol{H} &= \sigma\boldsymbol{E}\,; \\ \operatorname{rot}\boldsymbol{E} &= -\mu_a(H)\frac{\partial \boldsymbol{H}}{\partial t}. \end{aligned} \tag{13}$$

Medii semiconductoare (regim nestaționar, μ = const.). Ecuațiile (12) devin :

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}\boldsymbol{H} &= \sigma(E)\,\boldsymbol{E} + \varepsilon_a(E)\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}; \\ \operatorname{rot}\boldsymbol{E} &= -\mu\frac{\partial \boldsymbol{H}}{\partial t} \end{aligned} \tag{14}$$

Medii dielectrice neliniare (regim nestaționar, $\sigma = 0$, μ = const.). Ecuațiile (12) devin :

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}\boldsymbol{H} &= \varepsilon_a(E)\frac{\partial E}{\partial t}; \\ \operatorname{rot}\boldsymbol{E} &= -\mu\frac{\partial \boldsymbol{H}}{\partial t}. \end{aligned} \tag{15}$$

3. Probleme (la limită) privind circuitele cu elemente neliniare și cîmpul magnetic și electric în medii neliniare

3.1. *Probleme privind calculul circuitelor cu elemente neliniare*

Circuitul cu inductivitate neliniară. Comportarea la treapta $u_0 \cdot 1\,(t)$ a circuitului cu inductivitate neliniară, din figura 3*a*, este descrisă de ecuația :

$$L_0\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + Ri + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(ai - bi^3) = u_0 \cdot 1\,(t), \tag{16}$$

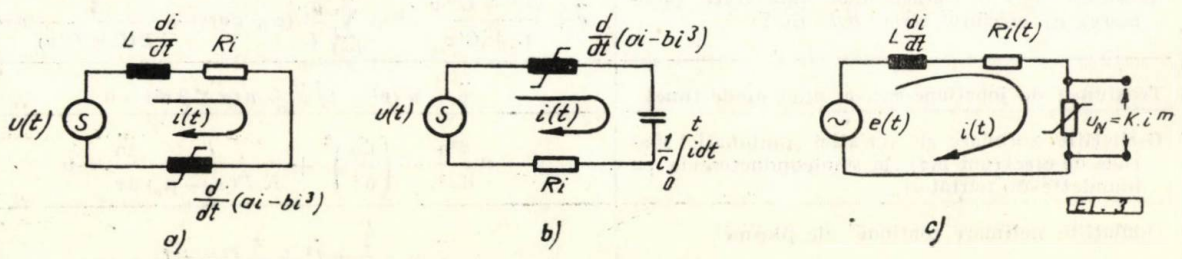


Fig. 3. Circuite neliniare :
a – circuit cu inductivitate neliniară ; *b* – circuit cu rezonanță neliniară ; *c* – circuit cu rezistență neliniară.

care ţine seamă de legătura neliniară: $\Phi = ai - bi^n$, cu $n = 3$ (valabilă numai pe domeniul de variaţie al lui Φ şi i). Pentru ecuaţia (16) se impune condiţia iniţială nulă.

Circuitul cu rezonanţă neliniară $(L(i), C)$. Pentru circuitul din figura 3 *b*, ecuaţia fundamentală ia următorul aspect (legătura neliniară dintre Φ şi i rămînînd aceeaşi ca în cazul precedent $n = 3$):

$$(a - 3bi^2)\frac{d^2i}{dt^2} - 6bi\left(\frac{di}{dt}\right)^2 + R\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}i = u_0 \cos \omega t, \tag{17}$$

cu condiţii iniţiale nule: $i(0) = i'(0) = 0$.

Circuitul cu rezistenţă neliniară. Ecuaţia care descrie comportarea la unda armonică a circuitului din figura 3 *c* este:

$$L\frac{di}{dt} + Ri + Ki^m = u_0 \sin \omega t, \tag{18}$$

cu condiţia iniţială nulă: $i(0) = 0$.

3.2. *Probleme privind calculul cîmpului H şi E în medii neliniare*

Calculul cîmpului H în semispaţiul feromagnetic şi în tola feromagnetică subţire. Pentru acest caz (fig. 4 *a*,*b*) rezultă (prin eliminarea lui E între ecuaţiile (13) şi ţinînd seamă de particularităţile problemei) ecuaţia parabolică neliniară:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = \sigma \mu_a(H) \frac{\partial H}{\partial t}, \tag{19}$$

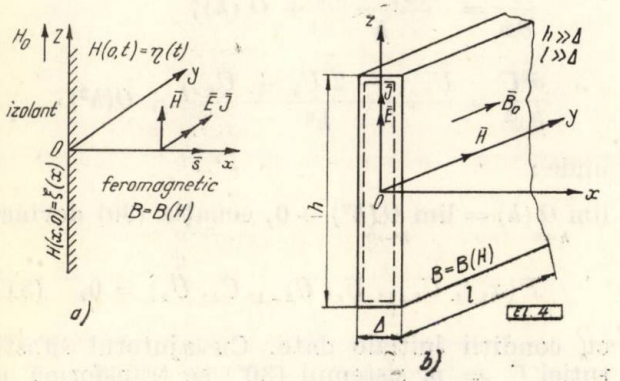


Fig. 4. Corpuri feromagnetice:
a – semispaţiul feromagnetic; *b* – tola feromagnetică subţire.

pentru care se pun condiţii la limită mixte:

În general	Semispaţiul
$H(x_1, t) = \eta(t)$	$H(0, t) = \eta(t)$
$H(x_2, t) = \xi(t)$	$H(\infty, t) = 0$
$H(x, 0) = \chi(x)$	$H(x, 0) = \chi(x)$

Tola subţire

$$H\left(-\frac{\Delta}{2}, t\right) = H\left(+\frac{\Delta}{2}, t\right) = \eta(t)$$
$$H(x, 0) = \varkappa(x) \tag{20}$$

Problema corectitudinii punerii problemei la limită cu condiţii mixte de tipul (20) pentru ecuaţia (19) a fost rezolvată în [4], cînd, pe baza unei teoreme generale de corectitudine a punerii problemei, s-au dat teoreme de existenţă şi unicitate a cîmpului H în semispaţiul

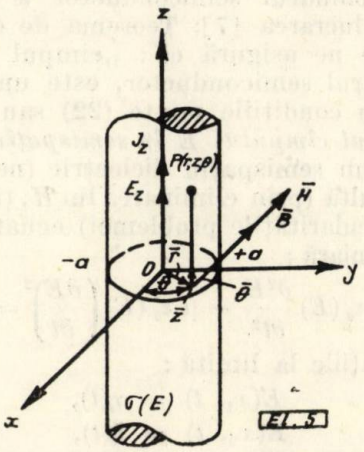


Fig. 5. Cilindrul semiconductor.

feromagnetic şi în tola feromagnetică subţire. Aceste teoreme ne asigură că: „Cîmpul magnetic H, în semispaţiul feromagnetic şi în tola feromagnetică subţire, este univoc determinat în condiţii la limită mixte (20)". Problema unicităţii a mai fost tratată şi în [6].

Calculul cîmpului E în cilindrul semiconductor. Vom particulariza ecuaţiile (14) în cazul unui cilindru semiconductor, de rază a şi lungime $l \gg a$ (fig. 5), caracterizat de legea de conducţie neliniară: $\sigma = kE^{m-1}$. Ecuaţiile (14) conduc (prin eliminarea lui H, exprimînd operatorul Laplaceian în coordonate cilindrice şi ţinînd seamă că singura componentă nenulă a cîmpului este $E_z = E$), la ecuaţia hiperbolică neliniară:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial r^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial E}{\partial r} - \beta E^{m-1}\frac{\partial E}{\partial t} = 0, \tag{21}$$

unde:

$\frac{1}{c^2} = \varepsilon\mu$ şi $\beta = m\mu k$, cu condiţiile mixte:

$$E(r, 0) = \varphi(r);$$
$$E(0, t) = \theta(t) < \infty;$$
$$\left.\frac{\partial E}{\partial t}\right|_0 = \psi(r); \tag{22}$$
$$E(a, t) = \chi(t).$$

În regim cvasistaţionar, (21) se transformă în ecuaţia parabolică:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial E}{\partial r} = \beta E^{m-1}\frac{\partial E}{\partial t}, \tag{23}$$

cu condiţii la limită mixte :

$$\begin{aligned} E(r,\ 0) &= \varphi(r);\\ E(0,\ t) &= \theta < \infty;\\ E(a,\ t) &= \chi(t). \end{aligned} \tag{24}$$

Corectitudinea punerii problemelor la limită pentru cilindrul semiconductor a fost rezolvată în lucrarea [7]. Teorema de existenţă şi unicitate ne asigură că : „cîmpul electric E, în cilindrul semiconductor, este univoc determinat în condiţiile mixte (22) sau (24)".

Calculul cîmpului E în semispaţiul dielectric. Pentru un semispaţiu dielectric (neliniar), din (15) rezultă (prin eliminarea lui H, ţinînd seamă de particularităţile problemei) ecuaţia hiperbolică neliniară :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \mu\,\varepsilon_d(E)\,\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} - \mu\,\varepsilon_d'(E)\left(\frac{\partial E}{\partial t}\right)^2 = 0, \tag{25}$$

cu condiţiile la limită :

$$\begin{aligned} E(x_1,\ t) &= \eta(t),\\ E(x_2,\ t) &= \xi(t),\\ E(x,\ 0) &= \chi(x). \end{aligned} \tag{26}$$

Remarcăm aici unele modele neliniare pentru calculul cîmpului date în [8].

4. Modelul matematic unitar

Pentru rezolvarea problemelor privind circuitele cu elemente neliniare şi problemele de cîmp magnetic sau electric în medii neliniare, stau la îndemînă procedeele de calcul digital. Însă comoditatea utilizării unui calculator presupune găsirea unui model matematic unitar şi ca atare elaborarea unui algoritm de calcul unic.

Modelul matematic pentru circuite neliniare. În adevăr, examinînd ecuaţiile fundamentale ale circuitelor cu elemente neliniare, se constată că, cu ajutorul unei substituţii de forma : $\frac{di}{dt} = p$, sau $q = p$ sau $\dot{u} = p$, ecuaţiile respective se transformă în sisteme diferenţiale de ordinul 1. Astfel (5) se transformă în sistemul diferenţial :

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dt} &= \frac{1}{f(i)}\{\Omega(t) - g(i)\,p^2 - h(i)\,p - j(i)\,i(t)\},\\ \frac{di}{dt} &= p, \end{aligned} \tag{27}$$

cu condiţii iniţiale : $p(0) = p_0$ şi $i(0) = i_0$.

Ecuaţia (6), se înlocuieşte cu sitemul diferenţial :

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dt} &= \frac{1}{F(p)}\{\Omega(t) - G(p)p - H(q)q\},\\ \frac{dq}{dt} &= p, \end{aligned} \tag{28}$$

cu condiţii iniţiale : $p(0) = p_0$ şi $q(0) = q_0$.

În sfîrşit, (9) se reduce la sistemul diferenţial :

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dt} &= \frac{1}{\varphi(u,p)}\{u_{cc}(t) - \psi(u,p)p - u\},\\ \frac{du}{dt} &= p. \end{aligned} \tag{29}$$

cu condiţii iniţiale : $p(0) = p_0$ şi $u(0) = u_0$.

Modelul matematic pentru calculul cîmpului în medii neliniare. Pentru problemele de cîmp în medii neliniare, modelul matematic poate fi pus sub forma ecuaţiei cu derivate parţiale, neliniară :

$$F(x, t,\ U,\ U_x,\ U_t, U_{xx},\ U_{tt}) = 0, \tag{30}$$

cu condiţii de tip mixt :

$$\begin{aligned} &U(x_1,\ t) = \chi(t);\quad U(x_2,\ t) = \eta(t);\\ &U(x,\ 0) = f(x);\quad \left.\frac{\partial U}{\partial t}\right|_0 = g(x). \end{aligned} \tag{31}$$

Utilizînd metoda spaţiu discret — timp continuu, care implică folosirea relaţiilor de calcul cu diferenţe finite, pentru exprimarea derivatelor în raport cu x (adică U_x şi U_{xx}), relaţia (30) se transformă într-un sistem diferenţial neliniar, care prin substituţii adecvate poate fi adus la ordinul 1. În adevăr, ţinînd seamă că :

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{U_{k+1} - U_k}{h} + O(h);$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{U_{k+1} - 2\,U_k + U_{k-1}}{h^2} + O(h^2),$$

unde :

$\lim\limits_{h\to 0} O(h) = \lim\limits_{h^2\to 0} O(h^2) \to 0$, ecuaţia (30) devine :

$$F(x, t,\ U_{k+1},\ U_k,\ U_{k-1}, \dot{U}_k, \ddot{U}_k) = 0, \tag{31'}$$

cu condiţii iniţiale date. Cu ajutorul substituţiei $\dot{U} = p$, sistemul (30') se transformă în sistemul de ordinul 1 :

$$\begin{aligned} &F(x, t,\ U_{k+1},\ U_k,\ U_{k-1}, \dot{p}_k, p_k) = 0;\\ &\dot{U}_k = p_k;\ (k = 1,2,\ldots,\ n), \end{aligned} \tag{32}$$

cu : $U_k(0) = U_k^0$ şi $p_k(0) = p_k^0$.

Cu ajutorul metodei spaţiu discret — timp continuu — ecuaţia parabolică neliniară (19) se transformă în sistemul diferenţial :

$$\frac{dH_k}{dt} = \frac{1}{\sigma h^2}\,\frac{H_{k+1} - 2\,H_k + H_{k-1}}{\left(\frac{dB}{dH}\right)_k}, \tag{33}$$

cu $k = 1,2,...,n$ și cu condiții inițiale date $H_k(0) = H_k^0$.

Examinînd modele matematice obținute atît pentru circuite cu elemente neliniare (27), (28) (29), cît și pentru problemele de cîmp în medii neliniare (32), se constată că s-a obținut un model matematic unitar, exprimabil sub forma unui *sistem diferențial neliniar de ordinul 1.*

5. Procedee de calcul digital

Pentru rezolvarea cu ajutorul unui calculator digital a unei probleme cu aspect neliniar (fie de circuit, fie de cîmp) este necesar să se cunoască algoritmul de calcul și să se elaboreze un program de calcul. Acest program de calcul poate utiliza subrutine din biblioteca calculatorului digital folosit, în special pentru calculul anumitor funcții speciale (SINx, COSx, $\sqrt{x}$, LNx, $J_0(x)$, $J_1(x)$, ERFCx etc.).

Algoritmul de calcul. Pentru a examina algoritmul de calcul propus, se consideră sistemul care exprimă modelul matematic unitar:

$$\frac{dy^i}{dx} = f^i(x, y^i),$$

cu condiții inițiale: $y^i(x_0) = y_k^i$, $(i = 1,2,...,n)$.

Se presupune că funcțiile $y^i(x)$ sînt definite pe intervalul $[x_0, x_1]$ și că există o diviziune a acestui interval: $x_0 = \tilde{x}_0 < \tilde{x}_1 < ... < \tilde{x}_n = x_1$.

Pentru rezolvarea acestui sistem se folosește procedeul Runge-Kutta-Merson [9]. Acest procedeu permite calculul funcțiilor y^i la pasul $p+1$, în funcție de valorile cunoscute la pasul anterior $p(p = 0, 1, 2,...,n-1)$, precum și o evaluare a erorii de calcul ε_{p+1}^i.

Relațiile de calcul sînt:

$$y_{p+1}^i = y_p^i + \frac{1}{2}(K_{1p}^i + 4K_{4p}^i + K_{5p}^i) + \varepsilon_p^i(h^5);$$

$$\varepsilon_{p+1}^i = \frac{1}{5}\left(K_{1p}^i - \frac{9}{2}K_{3p}^i + 4K_{4p}^i - \frac{1}{2}K_{5p}^i\right),$$

unde $K_{1p}^i, ..., K_{5p}^i$ sînt date în [9]. Calculul pornește de la valorile inițiale: $y^i(x_0) = y_0^i$.

Programul de calcul. Programul de calcul pe calculator digital se bazează pe organigrama (schema de calcul) din figura 6.

Simbolurile utilizate aici sînt cele obișnuite în literatura americană de specialitate. Organigrama cuprinde un bloc de intrare, unul de inițializare, blocuri pentru decizii logice, blocuri de calcul, blocuri de tipărire și blocul conținînd subrutina 2, care permite calculul membrului drept al sistemului, adus la forma normală.

Programul de calcul a fost elaborat în autocod ELLIOTT. El furnizează în ordine: timpul (t_{p+1}), funcția necunoscută (y_{p+1}^i) și eroarea ε_{p+1}^i, toate la pasul $p+1$. Programul de calcul este format din două părți principale: programul de bază (același pentru toate sistemele) și subrutina 2 (care depinde de sistem), ceea ce conferă programului de calcul o mare generalitate.

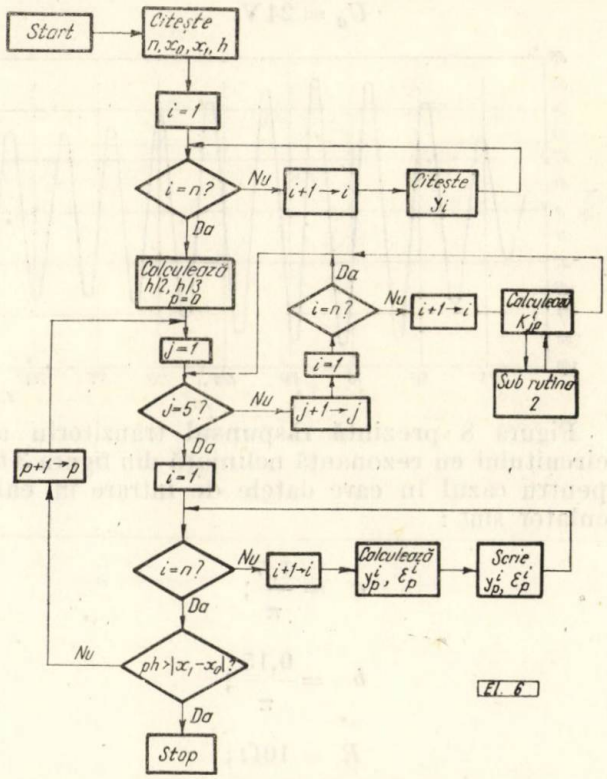


Fig. 6. Organigrama de calcul.

6. Rezultate de calcul digital

Pentru ilustrarea teoriei s-au rezolvat pe calculatorul digital ELLIOTT 803, cele trei circuite neliniare din capitolul precedent. În figura 7 este redat răspunsul tranzitoriu al

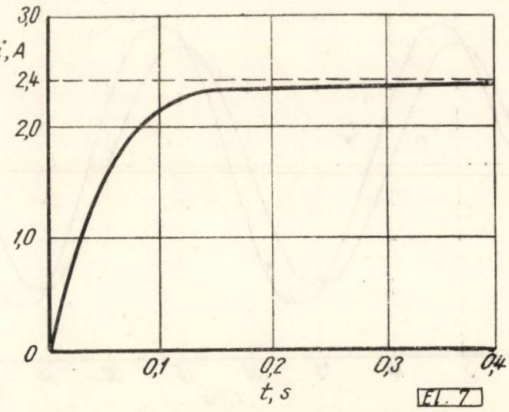


Fig. 7. Răspunsul tranzitoriu al circuitului din figura 3 *a*.

circuitului din figura 3*a*, la excitaţia treptată pentru următoarele date de intrare :

$$L_0 = 1H;$$
$$R = 10\Omega;$$
$$a = \frac{1,5}{\pi};$$
$$b = \frac{0,15}{\pi};$$
$$U_0 = 24\,\mathrm{V}.$$

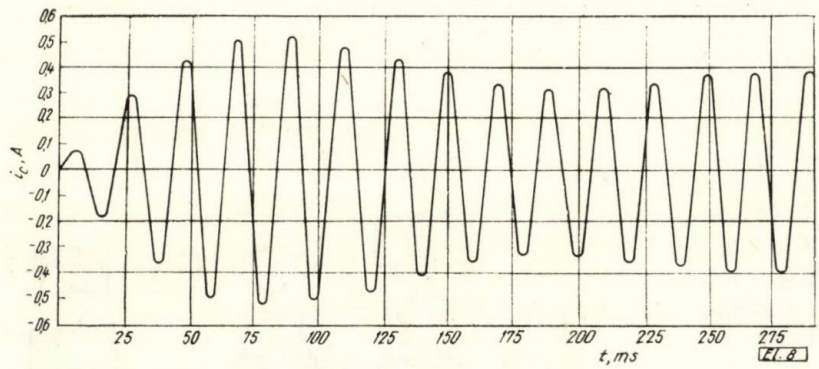


Figura 8 prezintă răspunsul tranzitoriu al circuitului cu rezonanţă neliniară din figura 3 *b*, pentru cazul în care datele de intrare în calculator sînt :

$$a = \frac{1,5}{\pi};$$
$$b = \frac{0,15}{\pi};$$
$$R = 10\Omega;$$
$$C = 1\mu F;$$
$$U_0 = 12\mathrm{V};$$
$$\omega = 100\pi.$$

În sfîrşit, ultimul circuit al cărui răspuns tranzitoriu la excitaţia armonică a fost cerut calculatorului, a fost cel din figura 3 c. Figura 9 prezintă acest răspuns tranzitoriu pentru următoarele date de intrare :

$$L = 1\mathrm{H};$$
$$R = 40\Omega;$$
$$K = \sqrt{30};$$
$$\alpha = 0,5;$$
$$E(t) = 120 \sin \omega t.$$

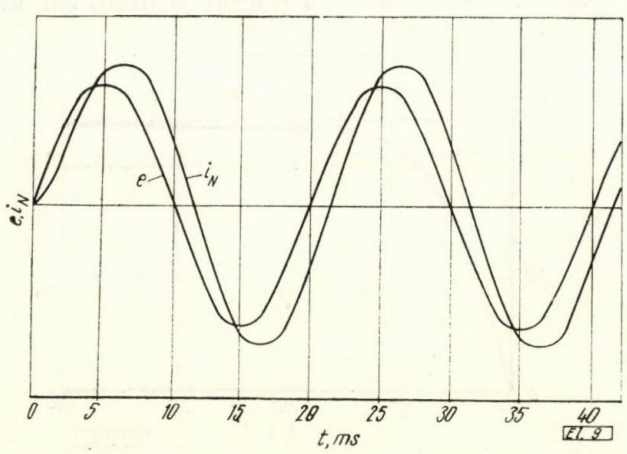


Fig. 9. Răspunsul tranzitoriu al circuitului din figura 3*c*.

Fig. 8. Răspunsul tranzitoriu al circuitului din figura 3*b*.

Pentru ilustrarea modului de rezolvare a unei probleme de cîmp într-un mediu neliniar, am ales rezolvarea cu ajutorul calculatorului digital al pătrunderii şi difuziei cîmpului magnetic $H(x, t)$, atît în semispaţiul feromagnetic, cît şi în tola feromagnetică subţire, ambele probleme avînd o deosebită importanţă practică. Deoarece am presupus că se urmăreşte comportarea la treapta de cîmp $H_0 \cdot 1(t)$, legătura neliniară* dintre B şi H poate fi exprimată prin relaţia :

$$B = aH - bH^2.$$

Înlocuind în (33) rezultă modelul matematic discret, pentru calculatorul digital, sub forma următoare ($k = 9$) :

$$\frac{dH_1}{dt} = \frac{1}{\sigma h^2} \frac{H_2 - 2H_1 + H_0}{a - 2bH_1},$$

$$\frac{dH_k}{dt} = \frac{1}{\sigma h^2} \frac{H_{k+1} - 2H_k + H_{k-1}}{a - 2bH_k}, (k = 2,3,\ldots,8);$$

$$\frac{dH_9}{dt} = \frac{1}{\sigma h} \frac{H_{10} - 2H_9 + H_8}{a - 2bH_9},$$

cu condiţii iniţiale nule pentru toţi H_k. Trebuie precizat că pentru corpul feromagnetic care ocupă un semispaţiu se pune în plus condiţia : $H_{10} = 0$, în timp ce pentru tola

* Cînd memoria calculatorului utilizat este suficient de mare, legătura neliniară dintre B şi H poate fi dată şi sub forma unui tabel.

feromagnetică subțire : $H_{10} = H_0$.
Date numerice :

$$H_0 = 5000\ \text{As/m};$$
$$\sigma = 10^7\ (\Omega\text{m})^{-1};$$
$$a = 5{,}74.10^{-4};$$
$$b = 5.10^{-8};$$
$$h = 10^{-5}\ \text{m};$$
$$x \in [0, 10^{-4}]\ \text{m};$$
$$\Delta t = 0{,}025.10^{-6}\ \text{s};$$
$$t \in [0; 1{,}2.10^{-6}]\ \text{s}.$$

Rezultatele de calcul obținute cu ajutorul calculatorului digital sînt redate în figurile 10 și 11. Din examinarea curbelor din aceste figuri se poate conclude asupra modului cum

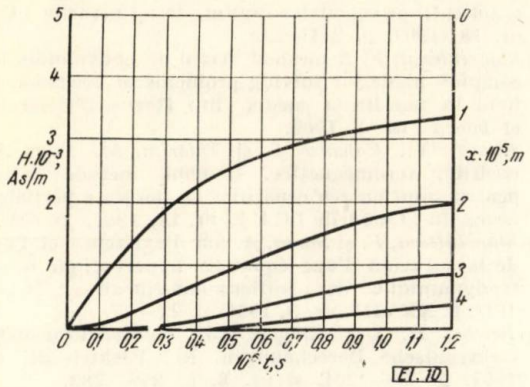


Fig. 10. Pătrunderea și difuzia cîmpului magnetic în semispațiul feromagnetic.

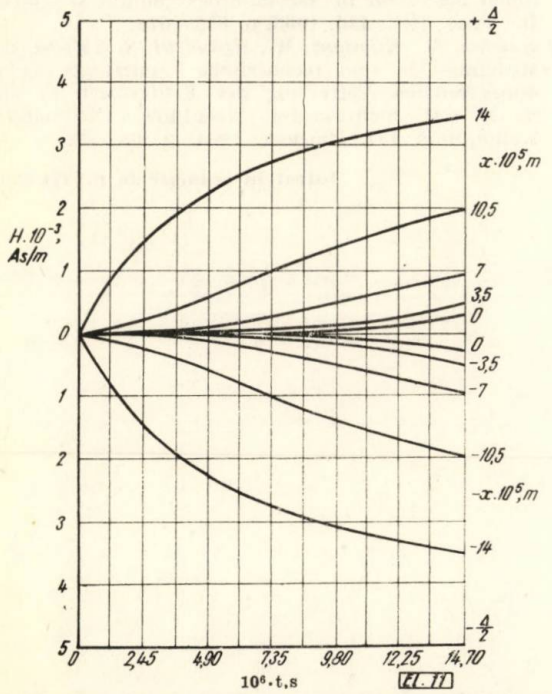


Fig. 11. Pătrunderea și difuzia cîmpului magnetic în tola feromagnetică subțire.

pătrunde cîmpul magnetic în mediile feromagnatice (neliniare).

Se constată că la aplicarea treptei unitare, cîmpul magnetic pătrunde rapid (de exemplu pentru prima treaptă, $x = 10^{-5}$ m, procesul

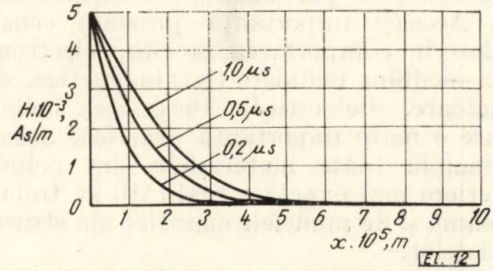


Fig. 12. Distribuția spațială a cîmpului magnetic în semispațiul feromagnetic.

tranzitoriu este practic terminat în 10^{-6} s), dar numai într-o foarte subțire peliculă (de ordinul a 10^{-1} mm) el are o valoare sensibilă.

În ce privește frontul undei $H(x_k, t)$ se constată că pe măsură ce k crește, el este mai

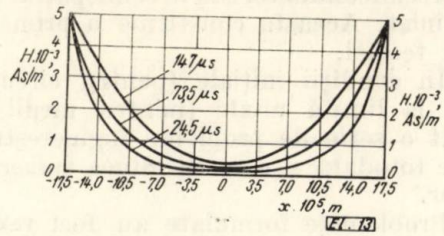


Fig. 13. Distribuția spațială a cîmpului magnetic în tola feromagnetică subțire. (Valorile timpului sînt de zece ori mai mari decît cele reale)

aplatisat. Procesul tranzitoriu se desfășoară în intervale din ce în ce mai lungi pe măsură ce x crește.

În concluzie : cîmpul $H(x, t)$ pătrunde rapid în feromagnetici, descrește rapid cu x (de exemplu în centrul tolei el este mult mai mic decît la margine), iar frontul undei este aplatisat pe măsură ce unda avansează de la $x = 0$ înainte.

În figurile 12 și 13 se arată care este distribuția spațială a cîmpului magnetic $H(x, t)$ în semispațiul infinit feromagnetic și, respectiv, în tola feromagnetică subțire, la aplicarea treptei de amplitudine H_0.

Este important să arătăm că rezultatele de calcul obținute în această lucrare, cu ajutorul calculatorului digital, sînt confirmate de rezultatele experimentale obținute de diferiți cercetători [10], [11].

7. Concluzii

7.1. În această lucrare se elaborează o teorie unitară a circuitelor electrice cu elemente neliniare și a cîmpului electromagnetic în medii neliniare. Unitatea teoriei constă în faptul că toate problemele se reduc la rezolva-

rea unui model matematic unic : sistem diferenţial neliniar de ordinul 1.

7.2. O importanţă principială o are deducerea ecuaţiilor denumite fundamentale, pentru circuitele cu elemente neliniare, din care se pot deduce ecuaţiile particulare ale tuturor circuitelor. Aceeaşi importanţă prezintă ecuaţiile care descriu comportarea în cîmp electromagnetic a mediilor neliniare (feromagnetice, semiconductoare, dielectrice). Descrierea neliniarităţii are o mare importanţă practică, deoarece în principiu toate materialele sînt neliniare. O descriere mai exactă a realităţii ar trebui să ţină seamă şi de modelele cuantice ale structurii materialelor.

7.3. Particularizînd ecuaţiile fundamentale ale circuitelor cu elemente neliniare s-au obţinut ecuaţiile unor circuite neliniare concrete. Particularizînd ecuaţiile cîmpului electromagnetic în medii neliniare s-au obţinut ecuaţiile care descriu cîmpul magnetic $H(x, t)$ în semispaţiul feromagnetic şi tola feromagnetică subţire, precum şi cele care descriu cîmpul electric $E(x, t)$ în cilindrul semiconductor sau în semispaţiul dielectric neliniar. Aceasta constituie o primă verificare a teoriei.

7.4. În condiţii iniţiale (pentru circuite) şi condiţii la limită mixte (pentru medii), s-au formulat o serie de probleme inginereşti, arătîndu-se totodată şi corectitudinea punerii problemelor.

7.5. Problemele formulate au fost rezolvate cu ajutorul unui algoritm de calcul numeric, utilizînd un calculator digital, ceea ce constituie soluţia modernă şi eficace a problemelor neliniare. Ca urmare a utilizării unui algoritm de calcul unic, programul de calcul elaborat este general, putînd fi folosit atît pentru probleme de circuite, cît şi pentru probleme de cîmp, neliniare.

7.6. Spre deosebire de sensul dat în [3] termenului de electrotehnică neliniară, în care se consideră numai circuitele cu elemente neliniare, lucrarea de faţă extinde această terminologie şi asupra mediilor neliniare, creînd astfel o teorie unitară a acestora.

Autorul foloseşte acest prilej pentru a mulţumi acad. *Remus Răduleţ* şi acad. *Aurel Avramescu* pentru discuţiile preţioase avute în legătură cu formularea ecuaţiilor fundamentale. Autorul mulţumeşte de asemenea matematicianului *A. Susea* pentru ajutorul acordat la efectuarea calculelor cu ajutorul calculatorului digital.

Bibliografie

[1] *Răduleţ, R.* Bazele electrotehnicii, vol. **I** (în curs de apariţie).

[2] *Philippow, E.* Nichtlineare Elektrotechnik. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, Geest & Portig K. — G., 1963.

[3] *Stănciulescu, F.* Beitrag zur Theorie und Berechnung elektrischer Stromkreise mit nichtlinearen Elementen. În : Arch. Elektrotechnik **47**, 1963, p. 291—301.

[4] *Stănciulescu, F.* şi *Susea, A.* Probleme privind cîmpul electromagnetic în medii neliniare. Studiul soluţiilor şi aplicaţii pe calculator digital. În : Lucrările I.C.P.E., nr. 18, 1967, p. 211—222.

[5] *Stănciulescu, F.* A method based on convolution in the complex plane for solving problems of electromagnetic field in non-linear media. În : Revue d'électrotechn. et énerg., nr. 1, 1969,

[6] *Bunea, V., Cahaner, S.* şi *Tătărîm, M.* Magnetizarea mediilor feromagnetice. O nouă metodă de calcul pentru soluţionarea ecuaţiilor cu derivate parţiale neliniare. În : Lucrările I.C.P.E. nr. 18, 1967, p. 198—210.

[7] *Stănciulescu, F.* şi *Susea, A.* Sur l'existence et l'unicité de la solution d'une équation hyperbolique de l'electrodynamique des milieux-non-lineaires. În : Bull IPB, t. **XXVIII**, nr. 3, 1966, p. 21—27.

[8] *Reiche, H.* Der Einsatz von Rechenautomaten für elektronische Berechnungen. În : Elektrie **21**, nr. 7, 1967, p. 256—261, şi nr. 8, p. 279—282.

[9] *Lance, G. N.* Numerical methods for high speed computers. London, Iliffe and Sons, 1960.

[10] *Jayawant, B. V.* şi *Rea, D. P.* Multinodal and transitional behaviour in second-order nonlinear systems. În : Proc. IEE, **115**, 1968, p. 863—976.

[11] *Kuschel, K., Reibetanz, W., Wykowski, S.* şi *Keitel, H. J.* Modelmässige und rechnerische Ermittlung der eindimensionalen Verteilung der Feldgrössen in Materialen mit nichtlinearer Kennlinie. IX. Internat. Kolloquium TH, Ilmenau, 1964, p. 63—68.

Intrat în redacţie la 6.VIII.1968

Reglajul unghiului rotoric, domeniul de aplicație și cerințe impuse instalațiilor de excitație a generatoarelor sincrone

Moreno Zickman* — București

CZ 621.313.32.016.34/35:621.3.072.2

1. Reglajul unghiului rotoric

1.1. *Prezentarea problemei.* La funcționarea mașinii sincrone este cunoscut că apare un unghi între axa cîmpului de excitație și axa cîmpului învîrtitor al statorului care este denumit unghiul rotorului sau unghiul de sarcină. În sistemele trifazate puterile ce pot fi transmise pe linii nu sînt limitate numai de efectele încălzirii, de valoarea curentului statoric al generatoarelor etc., ci și de mărimea unghiului de sarcină, a cărui valoare este de obicei fixată în limitele transportului stabil de energie electrică sau a funcționării stabile a mai multor generatoare sincrone în paralel [6], [7], [13], [14].

Limita stabilității (limita transportului stabil de putere electrică) poate fi mărită, după cum este cunoscut, cu ajutorul unei instalații de reglare rapidă a tensiunii [1]. Posibilități și mai bune de mărire a limitei stabilității statice se poate obține, pentru cazul funcționării la unghiuri mari ale rotorului, dacă se trece în aceste cazuri la un sistem de reglare a unghiului rotoric [3], [4]. În acest fel este posibil să se utilizeze generatorul în domenii mai largi de funcționare, de exemplu pentru furnizarea puterii reactive capacitive, situație în care se poate renunța și la conectarea unor bobine de compensare (de șoc) [1], [2].

1.2. *Mărimile care influențează unghiul rotoric.* După mărimile care influențează unghiul rotorului unui generator sincron, și anume curentul de excitație, reactanța sincronă și momentul de rotație se pot deduce în practică trei cazuri caracteristice de comandă prin reglajul unghiului rotoric, și anume :

a. Curentul de excitație. Acest caz se referă la situația cînd un generator (sau compensator sincron) funcționează la un regim de gol de putere activă pe o rețea importantă de distribuție în cablu (industrială sau urbană) sau o rețea întinsă de distribuție cu linii aeriene de înaltă tensiune. Dacă sarcina devine în mod crescînd capacitivă, curentul de excitație al mașinilor sincrone legate la această rețea se micșorează prin reglarea tensiunii care are tendințe de creștere.

În cazul arătat se prevede un reglaj al unghiului rotoric pentru ca, la atingerea unei limite critice a curentului de excitație sau a unghiului rotoric, să se mărească excitația (renunțîndu-se deci la menținerea tensiunii) și astfel să se evite ieșirea din sincronism a mașinii prin pierderea stabilității. Prin aceasta se obțin mașini stabile funcționînd în domeniul subexcitat și în afara limitelor diagramei de funcționare. Se poate deci renunța, în multe cazuri, la măsurile obișnuite ce se iau în asemenea situații ca montarea bobinelor de compensare, deconectarea parțială a cablurilor la sarcină redusă etc. [3].

b. Reactanța sincronă. La turbogeneratoarele de puteri foarte mari (peste 500 MW) rezultă, din motive economice și constructive, o valoare ridicată pentru reactanța sincronă. Deoarece o dată cu mărirea reactanței sincrone rezultă și creșterea unghiului rotoric, aceste mașini prezintă — chiar la funcționarea cu parametrii nominali — un unghi rotoric relativ mare, astfel că pericolul ieșirii din sincronism crește chiar în regimuri de sarcină normală inductivă. De aceea există tendința ca la aceste mașini să se prevadă reglajul unghiului rotoric [4].

c. Momentul de rotație. Acesta poate avea influență asupra unghiului rotoric, dar un asemenea reglaj, o dată executat, impune renunțarea la respectarea unei anumite puteri active, în funcționarea generatorului sincron.

Dacă un reglaj al unghiului rotoric se face funcție de momentul de rotație atunci acest reglaj înseamnă că intervine direct în reglajul mașinilor primare de forță. Un asemenea reglaj a fost propus încă în urmă cu mulți ani, dar el nu a putut fi adoptat din cauza dezavantajelor dinamice create mașinii de forță, precum și din cauza complicațiilor create prin modificarea puterii mașinii primare [4].

Din cele arătate mai sus și din realizările practice obținute pînă acum rezultă că reglajul unghiului rotoric se realizează cel mai ușor prin modificarea excitației mașinilor sincrone [3].

1.3. *Realizarea constructivă a instalației de reglaj a unghiului rotoric.* Regulatorul de tensiune al unei mașini sincrone reglează de obicei tensiunea la borne după o caracteristică statică care depinde de curentul reactiv. Dependent de cerințe, reglajul tensiunii mai poate fi completat cu instalații suplimentare de reglare prin includerea și a unor parametri ca factorul de putere, puterea reactivă sau supracurentul. Combinația acestor reglaje se poate face fără dificultăți prin avantajele oferite de regulatoarele electronice. Printre aceste reglaje supli-

* *M. Zickman* este doctorand la Institutul politehnic București și inginer proiectant șef la Sectorul sisteme energetice al Institutului de studii și proiectări energetice, București.

mentare se poate introduce şi reglajul unghiului rotoric.

Regulatorul unghiului rotoric se compune în principal dintr-o instalaţie de măsură a unghiului rotoric şi din regulatorul de unghi care intervine în reglajul excitaţiei după mai multe scheme posibile [3].

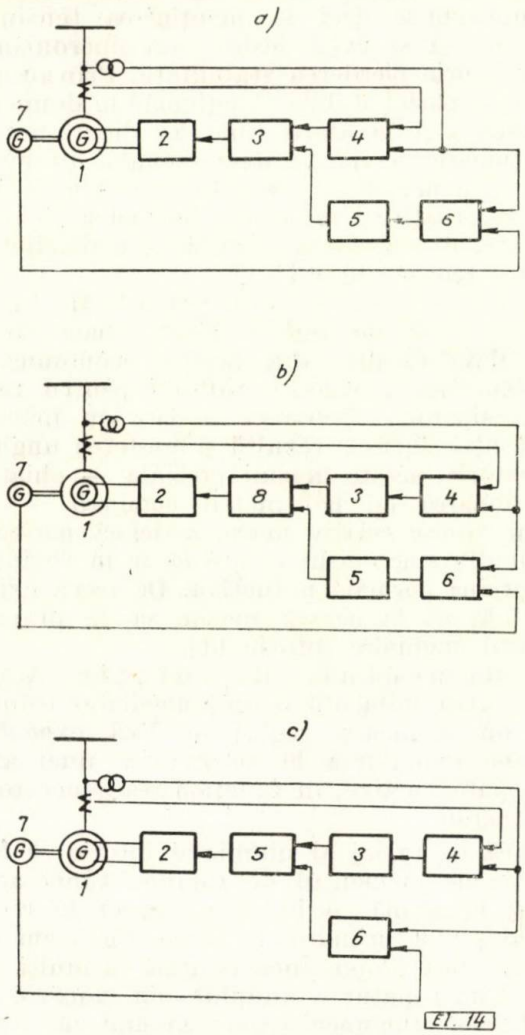


Fig. 1. Dispoziţia unei instalaţii de reglare a tensiunii prevăzută cu reglaj a unghiului rotoric [3]:

a – reglaj de tensiune cu reglaj suprapus a unghiului rotoric; *b* – reglaj de tensiune cu declanşare după controlul unghiului rotoric; *c* – reglaj de tensiune cu reglaj subordonat regulatorului de unghi rotoric; *1* – generator sincron; *2* – instalaţia de excitaţie; *3* – regulator de tensiune; *4* – dispozitiv de măsură (în circuit); *5* – regulator al unghiului rotoric; *6* – dispozitiv de măsură a unghiului rotoric; *7* – traductor de turaţie (generator tahometric); *8* – schema de declanşare a generatorului.

La schema cea mai cunoscută din figura 1 *a*, regulatorul de unghi *5* intervine mereu prin regulatorul de tensiune. Dispozitivul poate semnaliza situaţiile în care unghiul rotoric depăşeşte o anumită limită anterior calculată sau, în această situaţie poate chiar să comande declanşarea generatorului printr-un organ de declanşare special (fig. 1 *b*).

În altă schemă (fig. 1 *c*) regulatorul unghiului rotoric este atribuit unui reglaj interior. Circuitul de reglaj exterior, suprapus acestuia este reglajul de tensiune. Semnalul de ieşire al regulatorului de tensiune este aplicat regulatorului de unghi rotoric, ca valoare prescrisă. Reglajul unghiului rotoric lucrează în această schemă numai concomitent cu reglajul tensiunii. Efectul reglajului unghiului rotoric realizează deci simultan atît asupra unghiului rotoric, cît şi asupra tensiunii generatorului [3].

2. Cerinţe impuse instalaţiilor moderne de excitaţie şi de reglaj al tensiunii

Compararea schemelor de excitaţie şi reglaj, privind principalele caracteristici ale acestora, se poate face cu uşurinţă pe baza tabelei 1 [5].

2.1. *Întreţinerea instalaţiilor.* Schemele de excitaţie se deosebesc din punctul de vedere al întreţinerii funcţie de numărul total de colectoare şi de inele colectoare. Cele mai multe dintre acestea sînt la schema booster (pînă la patru colectoare), la conexiunea în cascadă (trei colectoare) la care se mai adaugă încă una sau două sisteme de inele colectoare (dintre acestea o pereche de inele sînt cele ale generatorului) [11]. În raport cu întreţinerea necesară la excitatoarele cu excitaţie proprie şi la cele cu excitaţie independentă (tabela 1), schemele booster şi în cascadă cer un grad mărit de întreţinere. Schemele de excitaţie, cu redresoare cu semiconductoare sau cu vapori de mercur [11], nu au colectoare (şi în parte nici inele colectoare) în afara celor ale generatorului. În cazul excitaţiei generatoarelor cu redresoare montate în rotor nu mai sînt necesare inele colectoare şi deci nici întreţinerea respectivă [11].

Operaţiile de întreţinere nu sînt deci necesare la schemele de excitaţie ale generatoarelor cu tensiune constantă, la schema transipol şi la schema cu redresoare rotative. La schemele cu redresoare cu vapori de mercur întreţinerea necesară este de asemenea redusă. Schemele cu excitatoare de curent alternativ şi redresoare cu semiconductoare necesită operaţii normale de întreţinere (schimbarea periilor) [15].

În general în sistemele de excitaţie se cere ca lucrările de întreţinere să fie cît mai mici şi să se poată executa la funcţionarea maşinii în sarcină. Elementele defectate trebuie să fie uşor înlocuibile.

2.2. *Investiţii.* Investiţiile necesare, pentru o schemă de excitaţie sau alta, variază funcţie de diferiţi factori şi trebuie analizate, de la caz la caz, pentru a determina ce cheltuieli sînt necesare şi justificate. Pretenţii prea ridicate faţă de comportarea dinamică sau siguranţa în funcţionare, pot influenţa simţitor costul acestor instalaţii. La cheltuielile de investiţie se mai adaugă şi necesitatea de spaţiu, precum şi cheltuielile de montaj şi punere în funcţiune a instalaţiilor. În tabela 1 se prezintă comparativ diferitele feluri de instalaţii pentru excitaţia generatoarelor sincrone, ţinînd seamă de toate cele arătate mai sus [5].

Tabela 1

Caracteristicile sistemelor de excitaţie

Sistem de excitaţie	Felul regulatorului	Generator şi sistem de excitaţie		Întreţinere		Comportare dinamică	Sursa de energie pentru excitaţie	Siguranţa în funcţionare	Investiţie
		a	*b*	Regulator	Sistem de excitaţie				
Excitatoare — cu excitaţie proprie	*RTS*	1	1	fără	normal	acoperitoare	maşina de forţă	identică cu a sursei de energie pentru excitaţie	redusă (la turaţii ridicate)
— cu excitaţie proprie şi independentă	*RTD*	1	1	fără	normal	bună	maşina de forţă şi bornele generatorului		
Excitatoare cu excitaţie independentă	*RTS*	2	1	fără	normal		maşina de forţă, reţea auxiliară sau generator pe ax	identică cu a sursei de energie pentru excitaţie	mijlocie
	RTD	1	2	fără	normal	bună			
Conexiune booster	*RTD*	4(2)	1(2)	fără	multă	bună	convertizor auxiliar racordat la reţea auxiliară (rar maşini de forţă)	identică cu a reţelei auxiliare şi a dispozitivelor de comandă	mijlocie
Conexiune în cascadă	*RTD*	3	1	fără	multă	bună			
Generator cu tensiune constantă	*RTD*		1	fără	fără	foarte bună	bornele generatorului (componente de tensiune şi de curent)	foarte ridicată (întocmai cu a generatorului)	redusă pînă la mijlocie (după turaţie şi putere)
Excitaţie transipol	*RTD*		1	fără	fără	foarte bună			
Redresor cu mercur	*RTS*		1	fără	redusă	foarte bună	reţea auxiliară sau generator pe ax	identică cu a sursei de energie pentru excitaţie	mijlocie pînă la mare
Redresor cu semiconductoare cu excitatoare de curent alternativ	*RTS* *RTD*		1–3	fără	normal	acoperitoare pînă la bună	maşina de forţă	foarte ridicată	mijlocie pînă la mare
Redresor de excitaţie rotativ	*RTS*			fără	fără	acoperitoare pînă la bună	maşina de forţă	foarte ridicată	mijlocie pînă la mare

Notaţii:
RTS – regulator cu transistoare; *RTD* – regulator cu traductor; *a* – numărul de maşini comutatoare; *b* – numărul de inele (ansamble).

2.3. *Asigurarea sursei de energie pentru excitaţie.* O importanţă deosebită trebuie acordată asigurării sursei de energie pentru excitaţie (tabela 1), de aceasta depinzînd în general siguranţa în funcţionare a instalaţiei de excitaţie (fig. 2). Deoarece sistemele moderne de excitaţie şi reglaj (exceptînd maşinile excitatoare rotative, în diferitele variante de scheme) se compun numai din piese în repaus (elemente constructive foarte sigure în exploatare), siguranţa în funcţionare a întregului sistem de excitaţie depinde în principal numai de deranjamentele sau întreruperile sursei de energie. Deosebit de sigure în exploatare sînt schemele cu maşini excitatoare cuplate direct, pentru care energia de excitaţie este luată direct de la generatorul pe care îl deservesc. Tot atît de mare este siguranţa de funcţionare la generatoarele cu excitatoare montate pe axul acestora. Dacă instalaţia de excitaţie se alimentează de la o reţea auxiliară, trebuie luate măsuri speciale pentru asigurarea energiei de excitaţie [5].

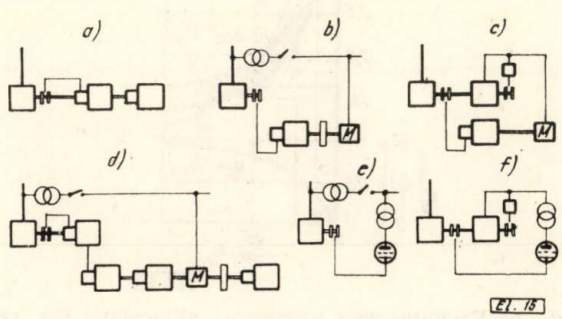


Fig. 2. Alimentarea cu energie a instalaţiilor de excitaţie ale generatoarelor:

a – excitatoarele cuplate direct (coaxiale); *b* – convertizor de excitaţie (cu volant) alimentat din reţea; *c* – convertizor de excitaţie alimentat de la un generator trifazat, coaxial cu generatorul principal; *d* – excitatoare principală coaxială, excitată de la un convertizor de excitaţie (cu volant) alimentat din reţea; *e* – redresoare cu vapori de mercur (supradimensionate) alimentate din reţea; *f* – redresoare cu vapori de mercur alimentate de la un generator trifazat, coaxial cu generatorul principal.

La centralele cu schemă-bloc instalația de redresare se leagă la transformatorul de servicii interne al centralei bloc și totodată se prevede și posibilitatea de conectare la barele de pornire (fig. 3). La pornirea blocului, consumul propriu, precum și instalația de redresare sînt alimentate de la transformatorul de pornire *6*. În funcțio-

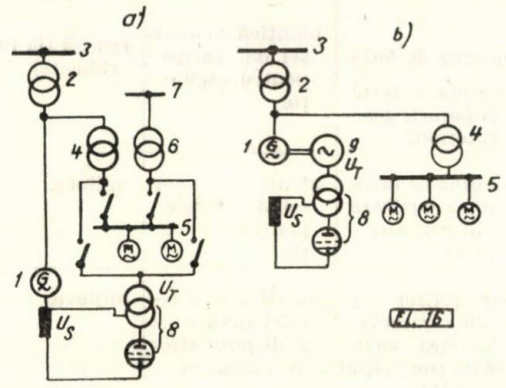


Fig. 3. Alimentarea instalației de excitație cu redresoare în cazul grupurilor bloc generator-transformator:

a – alimentare din rețeaua serviciilor interne de bloc (cu posibilitatea de comutare pe rețeaua de rezervă); *b* – alimentare de la un generator auxiliar, coaxial cu generatorul principal; U_S – tensiunea la inele; U_T – tensiunea de alimentare a instalației cu redresoare; *1* – generator sincron; *2* – transformatorul ridicător al blocului; *3* – rețeaua principală; *4* – transformatorul de servicii interne al blocului; *5* – barele colectoare ale serviciilor interne de bloc; *6* – transformator de rezervă și de pornire bloc; *7* – rețeaua de rezervă; *8* – blocurile instalației cu redresoare; *9* – generator auxiliar coaxial (de exemplu generator cu tensiune constantă).

nare normală și la defecte în rețea, generatorul alimentează instalația de redresare și consumul propriu, prin transformatorul de servicii interne *4*.

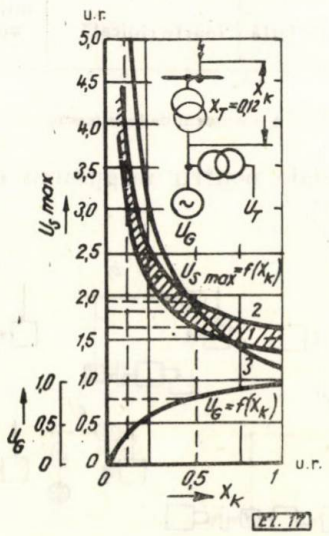


Fig. 4. Excitație cu redresoare alimentate din rețea. Tensiunea la bornele generatorului și tensiunea plafon a excitației dependentă de reactanța de scurtcircuit [5]:

U_G – tensiunea la bornele generatorului principal (raportată la tensiunea nominală U_{GN}); X_K – reactanța de scurtcircuit (în *u.r.*); U_{TN} – tensiunea nominală de alimentare a instalației de redresare; U_{SN} – tensiunea la inele pentru sarcina nominală; E'_i – tensiunea electromotoare tranzitorie a generatorului principal; U_{Smax} – tensiunea plafon cerută (necesară pentru obținerea lui U_{SN}) corespunzătoare valorii 1,0 U_{SN}; curba *1* – pentru 1,25 U_{SN}; curba *2* – pentru 1,5 U_{SN}; curba *3* – pentru E_{i_0} = const., $X_d = 0{,}25$ și $X_d = 1{,}7$.

La redresoare alimentate de la generatoare coaxiale alimentarea cu energie este independentă de rețea și de defectele interioare ale generatorului. Instalația de redresare se dimensionează în acest caz corespunzător supraexcitării normale. Instalația de redresare alimentată de la rețea trebuie însă supradimensionată pentru ca, la căderi mari de tensiune la bornele generatorului, în urma deranjamentelor din rețea, să avem prezentă totuși tensiunea la inelele colectoare. Dacă se reprezintă dependența tensiunii la bornele generatorului de reactanță de scurtcircuit X_K (scurtcircuit trifazat), la $t = 0$ (momentul inițial al scurtcircuitului), se observă că aceasta (U_G) nu variază liniar ci, la început scade puțin apoi tot mai mult tinzînd spre zero (fig. 4). La un scurtcircuit apropiat, de exemplu $X_K = 0{,}12$ u.r. (cazul scurtcircuitului pe partea tensiunii înalte a transformatorului bloc, avînd tensiunea de scurtcircuit de 12%), încă 40% din tensiunea nominală a generatorului este disponibilă în primul moment al defectului, pentru continuarea alimentării instalației de redresare.

Diagrama mai arată pentru ce tensiune maximă la inelele colectoare, trebuie dimensionată instalația de redresare, astfel ca la tensiune de alimentare redusă $U_T = U_G = f(X_K)$ să se mai furnizeze o tensiune plafon U_D. Se precizează că valoarea tensiunii plafon este raportată la tensiunea inelelor colectoare corespunzătoare nu la mersul în gol, ci la sarcina nominală.

2.4. *Comportarea dinamică.* Comportarea dinamică a instalațiilor de excitație și reglare automată determină condițiile de exploatare, configurațiile rețelelor, precum și comportarea în exploatare a întregului complex de mașini [5], [12]. Problema comportării dinamice se studiază printr-o comparație amănunțită, urmărindu-se rezultatele în diagrame care permit compararea diverselor sisteme din acest punct de vedere. Este de dorit ca înainte încă de a se analiza schemele cantitativ să se comenteze comparativ proprietățile generale legate de comportarea în timp a diferitelor scheme de reglaj [5].

În figura 5 se arată că este mai avantajoasă comportarea instalațiilor cu redresoare, dacă scurtcircuitul este deconectat repede (după t_{k1} sau t_{k2}). La durate de scurtcircuit mai mari, $E'_i = f(t)$, pentru instalații cu redresoare, scade mai mult decît în cazul instalațiilor de excitație cu mașini rotorice.

În general, comportarea dinamică a unei scheme de excitație și reglaj este cu atît mai bună cu cît suma întîrzierilor elementelor ei componente este mai mică, cu cît tensiunea plafon este mai mare și cu cît tensiunea contraelectromotoare (de excitație negativă) este mai mare. Constantele de timp ale diferitelor părți

din instalaţie sînt funcţie de conexiune, de tipul constructiv, de material şi pot fi modificate doar în mică măsură (tensiunea plafon poate fi însă variată în limite mai largi).

Comportarea dinamică, diferită în timp, a schemelor de excitaţie se poate urmări uşor pe baza funcţiunilor tranzitorii (fig. 6). Cel mai nefavorabil se comportă excitatoarea cu excitaţie proprie (curba *1*, fig. 6), care obţine tensiunea de excitaţie în derivaţie de la bornele proprii. Pentru condiţii de exploatare normale, comportarea dinamică poate fi făcută satisfăcătoare prin folosirea unui regulator de tensiune rapid (cu transistoare). Comportarea dinamică favorabilă au schemele booster şi în cascadă (curba *2*, fig. 6) şi maşinile cu excitaţie independentă (curba *3*, fig. 6).

Comportarea dinamică a maşinilor cu excitaţie proprie şi independentă (din exterior), cu regulator cu transductor alimentat de la bornele generatorului, corespunde unei funcţii tranzitorii situată între curbele *2* şi *3*. Similar se comportă schemele cu maşini excitatoare, de curent alternativ, legate cu redresoare cu semiconductoare, cît şi cele cu redresoare rotative (deoarece şi acestea sînt de fapt excitate din exterior).

Cel mai favorabil se comportă schemele de excitaţie cu redresoare cu vapori de mercur (curba *4*, fig. 6) şi variantele cu excitaţia funcţie de sarcină, de exemplu generatoarele cu tensiune constantă (inclusiv excitaţia „transipol"). Deoarece redresoarele cu vapori de mercur sînt elemente care practic nu au constantă de timp, funcţia de transfer a acestora creşte aproape vertical pînă la atingerea tensiunii plafon U_D.

În cazurile obişnuite nu se cer caracteristici dinamice atît de favorabile. Ele trebuie luate însă în consideraţie dacă la barele pe care debitează direct generatorul se conectează consumatori cu şocuri mari, ca de exemplu variaţiile de sarcină care apar la conectarea grupurilor de laminoare. La o asemenea linie de laminoare s-au măsurat variaţii de putere reactivă mai mari de 10 MVAr, care au atins

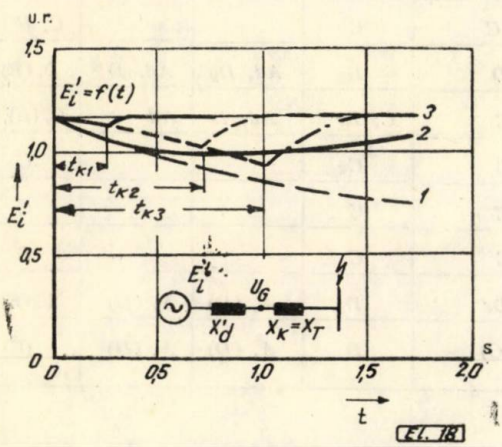


Fig. 5. Comparaţie între excitaţia cu excitatoare de curent continuu şi cea cu redresoare. Forţa electromotoare tranzitorie $E'_i = f(t)$ a generatorului sincron (principal) la scurt-circuite în reţeaua de alimentare [5]:

$X'_d = 0{,}25$; $X_d = 1{,}7$; $T_{d1} = 1{,}6$ s; $X_T = 0{,}12$; t_K – durata scurt-circuitului; curba *1* – excitatoare fără reglaj ($U_{S\,max} = 1{,}5\ U_{SN}$); curba *2* – excitatoare cu reglaj ($U_{S\,max} = 1{,}5\ U_{SN}$. $t_e = 1{,}6$ s); curba *3* – excitaţie cu redresoare ($U_{S\,max} = 3{,}0\ U_{SN}$, pentru $1{,}0\ U_{TN}$).

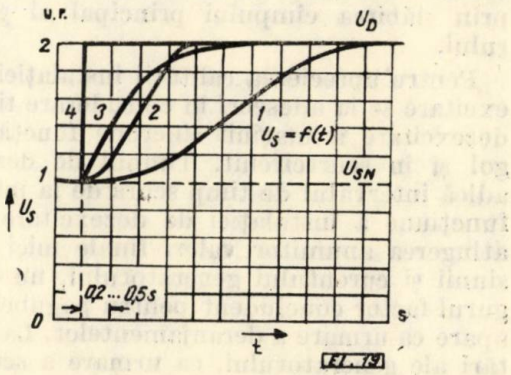


Fig. 6. Comportarea în regim tranzitoriu a instalaţiilor de excitaţie [18]:

U_S – tensiunea la inele (pentru sarcina nominală); U_D – tensiunea plafon; curba *1* – excitatoare cu excitaţie proprie (derivaţie); curba *2* – conexiune booster; curba *3* – excitatoare cu excitaţie independentă; curba *4* – redresor cu vapori de mercur.

valoarea maximă în 80 — 150 ms. Conectarea motoarelor mari asincrone, cu rotorul în colivie (cu sarcini de pornire mari în comparaţie cu capacitatea generatorului), constituie de asemenea un caz de exploatare limită, a cărui funcţionare poate fi controlată numai prin scheme cu caracteristici dinamice de excitaţie şi reglaj, avantajoase. Acestea au capacitatea să limiteze la valori mici variaţiile de tensiune provocate de şocurile de sarcină şi să reducă rapid tensiunea generatorului la valorile nominale [5].

2.5. *Dezexcitarea rapidă.* La toate schemele cu maşini de excitaţie de curent continuu o dezexcitare rapidă poate avea loc prin slăbirea cîmpului sau prin dezexcitarea oscilatorie. Excitatoarele de curent alternativ legate cu diode semiconductoare la înfăşurarea de excitaţie a generatorului admit numai o slăbire de cîmp. Dacă se montează un comutator suplimentar, în circuitul inductorului este posibilă obţinerea unei tensiuni contraelectromotoare şi o dezexcitare cu contracurent. În stadiul actual de dezvoltare a tehnicii, la redresoarele rotative de excitaţie este posibilă doar o slăbire a cîmpului maşinii principale de excitaţie de curent alternativ [5]

Schemele cu redresoare cu vapori de mercur dau posibilitatea ca în toate cazurile să se dezexcite generatoarele cu tensiunea contraelectromotoare. La schemele cu conexiune în cruce şi opoziţie — paralel [11] dezexcitarea se poate executa şi în contracurent. La schema de redresare simplă aceasta se poate obţine cu un comutator, care la trecerea prin zero a curentului

de excitație deschide circuitul de excitație și leagă redresoarele cu polaritatea inversă.

La generatoare cu tensiune constantă, cu dispozitive de tensiune constantă în circuitul de curent [11], generatorul se va dezexcita prin scurtcircuitarea inelelor colectoare. La schema prevăzută cu excitație „transipol" s-a arătat ca fiind eficace realizarea dezexcitării, prin slăbirea cîmpului principal al generatorului.

Pentru aprecierea calității instalației de dezexcitare se ia adeseori în considerare timpul de dezexcitare a mașinii sincrone funcționînd în gol și în scurtcircuit. Timpul de dezexcitare adică intervalul de timp scurs de la intrarea în funcțiune a instalației de dezexcitare pînă la atingerea anumitor valori finale mici ale tensiunii și curentului generatorului, nu este singurul factor concludent pentru pagubele ce pot apare ca urmare a deranjamentelor. La dezexcitări ale generatorului, ca urmare a scurtcircuitelor, timpul total depinde de timpul minim de acționare al protecției diferențiale, precum și de timpul de deconectare al întreruptorului. Atîta timp cît întreruptorul generatorului (după apariția scurtcircuitului) nu se deschide, o parte însemnată a curentului de scurtcircuit poate să se îndrepte de la rețea spre defectul din generator. În afară de aceasta, pînă cînd comanda de dezexcitare nu se execută (înainte de deschiderea întreruptorului de dezexcitare), excitația generatorului crește, comandată fiind de instalația de reglare respectivă.

Cercetările au arătat că numai ansamblul măsurilor de folosire a protecției și a întrerupătoarelor cu acționare foarte rapidă ($t_{prot} + t_{intr} < 0{,}15$ s), precum și un timp de dezexcitare foarte scurt pot influența favorabil fenomenul complex arătat. La timpi lungi de funcționare a protecției și deconectării întreruptorului principal timpul de dezexcitare al generatorului are un rol secundar și subordonat [6], [7].

3. Domeniul de aplicație al diferitelor scheme de excitație

Diferitele moduri de execuție a mașinilor sincrone, privind felul de acționare, puterea, turația, legarea la sistem sau alte condiții impuse mașinii sau excitației, au condus la necesitatea realizării mai multor sisteme de excitație, care în parte au fost expuse mai sus. Proprietățile lor sînt diferite și alegerea schemei de excitație pentru un grup de mașini trebuie astfel făcută încît să satisfacă în mod optim condițiile impuse. În acest scop, orientativ, poate contribui tabela 2, care conține reco-

Tabela 2

Îndrumător pentru alegerea sistemului de excitație a generatorului sincron [5]

Felul mașinii	Puterea mașinii	Condiții normale de exploatare	Turația minimă de exploatare < 300 rot/min	Suprasaturația maximă $\geq \approx 1{,}25\ n_0$	Din motive de spațiu sau altele similare nu este posibil montarea excitatoarelor	Încărcarea de șoc	Transportul la distanță	Sarcina capacitivă (exploatare în regim de subexcitație)	Atmosfera nocivă sau condiții asemănătoare
Turbogenerator	mare	*At, E*			*Dr*	*D*	*At, D*	*At, D*	*D, E, F*
	mijlocie	*Ad*			*Br, C, Dr*	*D*	*Ad, D*	*Ad, D*	*C, E, F*
	mică	*Ad*			*Br, C*	*C*			*C, F*
Hidrogenerator	mare	*Ad, B*	*Bg, Dg*	*Ad, Bg, Dg*	*B, D*	*Dg*	*Ad, Dg*	*Ad, D*	*D, (E), (F)*
	mijlocie	*Ad, C*	*At, Bg, C*	*Ad, Bg, C*	*B, C*	*C, Dr*	*Ad, D*	*Ad*	*C, (E), (F)*
	mică	*Ad, C*		*Ad, C*	*C*	*C*			*C*
Generator pentru motor Diesel	mare	*Ad*	*A, C*		*C*	*C*			*C*
	mică	*Ad, C*	*A, C*		*C*	*C*			*C*
Compensator sincron	mare	*Ad, B*			*B, Dr*	*D*	*A, (D)*	*A, (D)*	*D, (E), (F)*
	mică	*Ad*			*(C)*	*D*	*A, (D)*	*A, (D)*	*(C)*

Notații:

A	*d*	Excitatoare cuplată direct
	t	Excitatoare cuplată prin transmisie
B	*r*	Convertizor de excitație alimentat din rețea
	g	Convertizor de excitație alimentat de la generatorul de pe ax
C		Generator cu tensiune constantă cu excitație transipol

D	*r*	Redresor cu mercur alimentat din rețea
	g	Redresor cu mercur alimentat de la generatorul de pe ax
E		Redresor cu semiconductoare cu excitatoare de curent alternativ
F		Redresor de excitație, rotativ

mandări pentru alegerea schemelor de excitaţie [5].

Pentru turbo şi hidrogeneratoare, recomandările se fac împărţind maşinile după puterea lor, în maşini mari, mijlocii şi mici. La generatoarele motoarelor Diesel şi la compensatoarele sincrone se disting numai două categorii şi anume: maşini de putere mare şi mică. O împărţire a limitelor de puteri bazată pe cifre general valabilă, nu este posibilă deoarece atît maşinile sincrone, cît şi sistemele de excitaţie sînt în permanentă dezvoltare şi perfecţionare, iar prin aceasta limitele de putere pentru diverse sisteme de excitaţie se modifică mereu. Se dau cîteva valori orientative corespunzînd stadiului actual de dezvoltare. În sensul celor arătate, se consideră turbo şi hidrogeneratoare mari, cele peste 50 MVA şi mici, sub 10—5 MVA. Pentru generatoarele Diesel, limita între putere mare şi mică este la 1 MVA, iar pentru compensatoare la 10 MVA [5].

În condiţii de funcţionare normale se folosesc maşini excitatoare tip A legate direct sau prin transmisii la arborii generatoarelor (tabela 2).

La acestea se adaugă, la turbogeneratoarele mari soluţia cu excitatoare de curent alternativ şi redresoare cu semiconductoare (E) care sînt prevăzute în măsură tot mai mare, în ultimii ani, la maşinile mari. În Anglia, de exemplu, s-au echipat după acest sistem 20 de turbogeneratoare, cu putere nominală mai mare de 400 MVA [8]. La turbinele mari hidro şi la compensatoarele sincrone se folosesc scheme cu convertizoare de excitaţie, iar la grupurile mici Diesel schemele dependente de sarcină cît şi soluţiile cu maşini excitatoare cuplate direct.

Turaţia mică întîlnită la generatoarele hidro şi Diesel impune, pe lîngă soluţia cu maşina de excitaţie, variantele cu convertizoare, redresoare cu mercur şi excitaţia funcţie de sarcină (generatoare cu tensiune constantă şi excitaţie transipol). Asemenea soluţii pot cere investiţii mai mici decît executarea maşinilor excitatoare cu turaţii mici şi au totodată constantele de timp (ale instalaţiei de excitaţie) mai mici [5].

La alegerea schemei de excitaţie pentru generatoarele hidro se ţine seamă adeseori de turaţia maximă la deconectarea sarcinii maxime (nominale). Instalaţia de excitaţie şi reglaj trebuie dimensionată în acest scop, ea contribuind, o dată cu ambalarea hidrogeneratorului, să limiteze supratensiunile la valori admisibile. Schema transipol, de exemplu, s-a dovedit eficace la supraturaţii de 1,25 pentru hidrogeneratoare de putere mijlocie [5], [9].

Generatoarele alimentînd sarcini cu şocuri mari necesită scheme pentru excitaţie şi reglare rapide. Acesta este domeniul în care, pentru maşini mari, se folosesc nelimitat schemele de excitaţie cu redresoare cu vapori de mercur tip D, iar la puteri mici schemele de excitaţie tip C dependente de sarcină (tabela 2).

La transportul la distanţă şi la sarcină capacitivă se impun condiţii speciale care se pot îndeplini numai în cazul dimensionării convenabile a maşinilor de excitaţie şi a instalaţiilor respective de reglare. Comportarea în exploatare a grupurilor de maşini, mai ales la avarii în reţea, poate fi simţitor îmbunătăţită prin folosirea schemelor de excitaţie cu caracteristici dinamice mai favorabile. În asemenea situaţii redresoarele cu vapori de mercur pot contribui simţitor la mărirea stabilităţii reţelelor. Grupurile de maşini, funcţionînd în cea mai mare parte de timp în regim capacitiv (în domeniul subexcitat), este indicat să se prevadă cu excitaţie de la redresoare pentru a evita uzura mărită a periilor de comutaţie [5].

În sfîrşit, mai trebuie amintite condiţiile ce se referă la funcţionarea instalaţiilor în atmosferă nocivă sau influenţe climatice extrem de nefavorabile. În aceste condiţii, schemele fără comutatoare (deci fără maşini de excitaţie de curent continuu), reprezintă soluţiile adecvate. În legătură cu aceasta se aminteşte că schemele de excitaţie cu redresoare rotative pot fi folosite nu numai la maşinile mici ci şi la cele mari. Asemenea scheme s-au utilizat în Germania pentru generatoare de 3,3 şi 30 MVA şi în Finlanda pentru un generator de 100 MVA [10].

În S.U.A., redresoarele rotative sînt în funcţiune de cîţiva ani la un turbogenerator de 50 MVA şi în prezent se construiesc pentru excitaţia turbogeneratoarelor de 300 MVA. Şi în Belgia se foloseşte în prezent o schemă cu redresoare rotative la un turbogenerator de 76 MVA [5].

Pe baza rezultatelor experimentale şi de exploatare favorabile, se constată că schemelor de excitaţie cu redresoare cu semiconductoare (în repaus şi rotative) li se dau şi în Europa, în ultimii ani, o atenţie deosebită.

4. Concluzii

Reglajul unghiului rotoric permite mărirea limitei transportului stabil de putere electrică prin funcţionarea generatoarelor sincrone ale sistemului cu unghiuri de sarcină mari. Este astfel posibil ca generatoarele să poată fi utilizate în domenii mai largi de funcţionare, inclusiv furnizarea puterii reactive capacitive în perioadele golurilor de putere activă ale sistemului energetic.

Instalaţiile de excitaţie sînt cu atît mai bune cu cît întreţinerea lor este mai redusă, necesită investiţii mai mici, au o comportare dinamică mai bună, asigură o dezexcitare rapidă a generatorului şi sînt proiectate cu o schemă de alimentare cu energie cît mai sigură.

Bibliografie

[1] *Rieger, F.* Kritische Betrachtung über Erregersysteme für grosse Turbogeneratoren. În: ETZ-A **87**, H. 26, 1966, p. 952—955.

[2] *Föhse, W.* Erregermaschinenlose Hochspannungsgeneratoren. În: ETZ-B **12**, H. 15, 1960, p. 366—368.

[3] *Ernst, D.* şi *Waldmann, H.* Polradwinkelregelung für Synchronmaschinen. În: Elektrizitätswirtschaft **64**, H.5, 1965, p. 121—127.

[4] *Easton, V., Fitzpatrick, I. A.* şi *Parton, K. S.* The performance of continously acting voltage regulators with additional rotor angle control. Rapport nr. 309, CIGRÉ, 1960.

[5] *Achenbach, H.* Verschiedene Arten der Erregung von Synchronmaschinen. În: Elektrizitätswirtschaft **62**, H. 15, 1963, p. 577—590.

[6] *Crary, S. B.* Power system stability, vol. I—II. New York, John Wiley and Sons, 1955.

[7] *Jdanov, P. S.* Stabilitatea sistemelor electroenergetice. Bucureşti, Editura energetică de stat, 1953.

[8] *Dierman, H. W.* şi *Reimers, T. D.* Un groupe générateur de 1 000 MW. Ses principales caracteristique, connéxions aux réseau et premiers resultats d'exploitation. Rapport nr. 314, CIGRÉ, 1966, p. 14.

[9] *Nitschke, H. J.* şi *Zander, H.* Semipol, Stromrichtereregung für Synchrongeneratoren. În: AEG Mitteilungen **56**, nr. 3, 1966, p. 194—200.

[10] *Juen, P.* Schleifring — und Komutatorlose Erregeranordnung für Generatoren. În: Siemens Zeitschrift **36**, 1962, p. 234—235.

[11] *Zickman, M.* Sisteme moderne de excitaţie a generatoarelor sincrone. În: Electrotehnica **16**, nr. 10, 1968, p. 368—377.

[12] *Bonfert, K.* Bedeutung und Kennzeichnung der Erregungsgeschwindigkeit von Erregeranordnungen. În: ETZ-A **81**, H. 7, 1960, p. 246—262.

[13] *Dinculescu, C., Bercovici, M., Lazăr, H., Pololea, E., Vintilescu, M.* şi *Zbarcea, R.* Studiul instalaţiilor moderne de reglaj a excitaţiei generatoarelor sincrone şi influenţa lor asupra funcţionării sistemului energetic, Institutul politehnic Bucureşti, 1967, Catedrele de centrale electrice şi de reţele electrice.

[14] *Penescu, C.* Automatica şi telemecanica sistemelor energetice, vol. I. Bucureşti, Editura Academiei, 1959, p. 384—480.

[15] *McClymont, K. R., Manchur, G., Ross, R. J.* şi *Wilson, R. J.* Experience with high-speed rectifier excitation system. În: IEEE, New York, Winter Power Meeting, 1967.

[16] *Apetrei, C., Bălă, C., Groza, L.* şi *Cantaragiu, G.* Critères pour le choix des paramètres des machines synchrones et du systeme d'éxcitation. Compte tenu des caracteristique des reseaux electriques. Rapport nr. 11—08, CIGRÉ, 1968.

[17] *Glebov, I. A., Dyatcenko, G. I., Kazovsky, E. Y., Kostenko, M. P., Mamikoniants, L. G., Stanislavski, L. Y.* şi *Cistikov, A. P.* Dimensionnement de base et caracteristique de service des grands turbo-alternateurs et de leurs systèmes d'excitation en U.R.S.S. Rapport nr. 11—07, CIGRÉ, 1968.

[18] *Wöhrle, G.* Erregeranordnungen für grosse Turbogeneratoren. În: Elektrizitätswirtschaft **66**, H. 7, 1967, p. 152—164.

Intrat în redacţie la 15.VI.1968

Calculul solicitării izolaţiei transformatoarelor de înaltă tensiune şi mare putere cu borna de intrare la mijlocul înfăşurării

Balázs Máthé — Bucureşti, Ion Răducan şi Iulia Klincsek* — Craiova

CZ 621.314.211/212.027.84 : 621.317.33.3

Modelarea matematică a fenomenului tranzitoriu de impuls din transformatoarele şi autotransformatoarele obişnuite, cu borna de intrare la un capăt al înfăşurării, este tratată în literatura de specialitate de mai mulţi autori [1], [2], [3], [4], [5], [6]. Transformatoarele şi autotransformatoarele cu borna de intrare la mijlocul înfăşurării sînt cercetate pe cale analitică numai de Lizunov [7], utilizînd modele matematice continue, care se caracterizează prin ecuaţii diferenţiale în derivate parţiale greu rezolvabile în caz general, chiar şi cu calculatoarele moderne.

În cele ce urmează se demonstrează că pentru studiul fenomenului tranzitoriu de impuls este mai avantajoasă folosirea metodelor discrete de calcul aplicate la schema echivalentă discretă a înfăşurării transformatorului, deoarece:

— formularea matematică discretă corespunde în mai mare măsură caracterului discret al înfăşurării transformatorului real (înfăşurarea este compusă din elemente discrete, ca de exemplu: spire, galeţi, straturi şi secţii);

— sistemul de ecuaţii în diferenţe finite cu ajutorul calculului matriceal se poate aduce la o formă propice pentru programarea mai simplă a problemei pe calculatoare electronice cifrice.

1. Schema echivalentă discretă a transformatorului cu borna de intrare la mijlocul înfăşurării de înaltă tensiune şi ecuaţiile diferenţiale matriceale ale fenomenului tranzitoriu

La funcţionarea normală a transformatorului de mare putere din punctul de vedere al fenomenului tranzitoriu de impuls înfăşurarea de joasă tensiune se poate considera scurtcircuitată, iar neutrul înfăşurării de înaltă tensiune pus direct la pămînt. În aceste condiţii schema echivalentă discretă a înfăşurării de înaltă tensiune cu borna de intrare la mijloc este

* Dr. ing. *B. Máthé* este şef secţie T.T.I la ICENERG — Bucureşti, iar *I. Răducan* şi *I. Klincsek* sînt ingineri principali la U.E.P.C.

reprezentată în figura 1. În schema echivalentă din figură înfăşurarea de înaltă tensiune este împărţită în $2n$ secţiuni egale de calcul, existînd o simetrie perfectă faţă de mijloc.

Datorită simetriei şi omogenităţii curenţii şi potenţialele corespunzătoare din ramurile inferioare şi superioare ale înfăşurării s-au considerat egale.

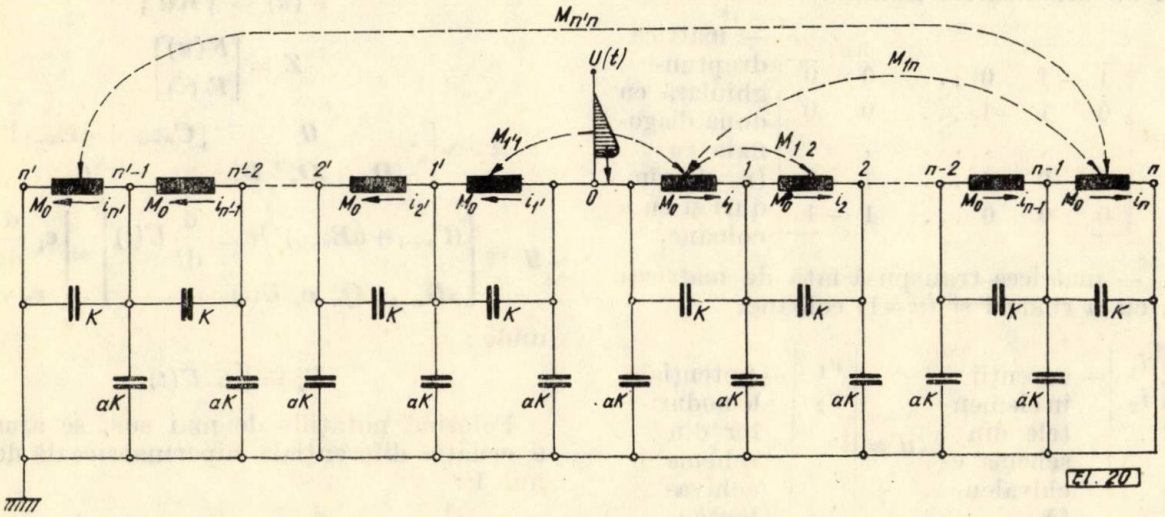


Fig. 1. Schema echivalentă a înfăşurării transformatorului cu borna de intrare la mijloc.

În această schemă echivalentă înfăşurarea este considerată omogenă, ceea ce pentru înfăşurările de tip întreţesut, practicate la transformatoare moderne de putere, nu introduce aproximaţii, deoarece în acest caz toate elementele de calcul sînt identice atît din punctul de vedere al izolaţiei conductorului, cît şi din punctul de vedere al numărului de spire pe galet.

Notaţiile utilizate în figura 1 sînt următoarele :

M_0 — inductanţa proprie a unei secţiuni de înfăşurare ; M_{rs} — inductanţa mutuală între secţiunile r şi s din înfăşurare ($r \neq s$; $r = 1...n,1'...n'$ şi $s = 1...n1'...n'$) ; K — capacitatea echivalentă longitudinală a unei secţiuni de înfăşurare ; $C = aK$ — capacitatea la masă a unei secţiuni de calcul din înfăşurare.

Neglijînd rezistenţele ohmice şi în consecinţă amortizarea fenomenului tranzitoriu, se pot scrie următoarele ecuaţii pe baza legii lui Kirchhoff şi urmărind schema din figura 1 (ecuaţiile cuplajelor electrice din schema echivalentă) :

$$i_1 - i_2 = K\left[(2+a)\frac{d}{dt}u_1 - \frac{d}{dt}u_2\right] - K\frac{d}{dt}U(t);$$

$$i_2 - i_3 = K\left[-\frac{d}{dt}u_1 + (2+a)\frac{d}{dt}u_2 - \frac{d}{dt}u_3\right];$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$i_k - i_{k+1} = K\left[-\frac{d}{dt}u_{k-1} + (2+a)\frac{d}{dt}u_k - \frac{d}{dt}u_{k+1}\right];$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$i_{n-1} - i_n = K\left[-\frac{d}{dt}u_{n-2} + (2+a)\frac{d}{dt}u_{n-1}\right];$$

Ecuaţiile cuplajelor electromagnetice, pentru înfăşurarea cu intrare la mijloc, se pot scrie în felul următor :

$$U(t) - u_1 = (M_0 + M_{11'})\frac{d}{dt}i_1 + (M_{12} + M_{12'})\frac{d}{dt}i_2 + \ldots + (M_{1n} + M_{1n'})\frac{d}{dt}i_n;$$

$$u_1 - u_2 = (M_{21} + M_{21'})\frac{d}{dt}i_1 + (M_0 + M_{22'})\frac{d}{dt}i_2 + \ldots + (M_{2n} + M_{2n'})\frac{d}{dt}i_n;$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots; \quad (2)$$

$$u_{n-1} = (M_{n1} + M_{n1'})\frac{d}{dt}i_1 + (M_{n2} + M_{n2'})\frac{d}{dt}i_2 + \ldots + (M_0 + M_{nn'})\frac{d}{dt}i_n,$$

unde $U(t)$ este tensiunea de impuls aplicată schemei între punctul de intrare şi masă.

Pentru sistemul de ecuaţii (2) s-a adoptat următoarea funcţie de variaţie exponenţială a inducţiei mutuale de-a lungul înfăşurării, folosită de majoritatea autorilor [1] :

$$M = M_0 \cdot e^{-\lambda|r-s|} = M_0 q^{|r-s|}, \quad (3)$$

unde :

M_0 este inductanţa proprie a elementului considerat ;

λ — număr pozitiv caracteristic pentru o funcţie dată ;

$q = e^{-\lambda}$ — număr pozitiv subunitar ;

r şi s — numerele secţiunilor de calcul dintre care se ia în considerare inducţia electromagnetică.

Rezolvarea sistemelor de ecuații (1) și (2) se obține într-o formă ușor abordabilă pentru calculatoarele electronice, folosind calculul matriceal cu următoarele notații :

$$\boldsymbol{D}_{n-1,n}=\begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ . & . & . & \dots & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -1 \end{vmatrix}$$

— matrice dreptunghiulară cu două diagonale cu $(n-1)$ rînduri și cu n coloane,

$\boldsymbol{D}^*_{n-1,n}$ — matricea transpusă față de matricea $\boldsymbol{D}_{n-1,n}$ cu n rînduri și $(n-1)$ coloane.

$$\boldsymbol{i}=\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ . \\ . \\ . \\ i_n \end{bmatrix}$$ — curenții în elementele din schema echivalentă ;

$$\boldsymbol{u}=\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ . \\ . \\ . \\ u_{n-1} \end{bmatrix}$$ — potențialele nodurilor din schema echivalentă ;

$$\boldsymbol{e}_n=\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ . \\ . \\ . \\ 0 \end{bmatrix}$$ — matricea coloană cu n elemente în care primul element este 1, iar restul elementelor sînt egale cu zero ;

$\boldsymbol{E}_n$ — matricea unitate de ordinul n ;

$$\boldsymbol{C}_n=\begin{vmatrix} 2 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -1 & 2 \end{vmatrix}$$

— matricea lui Jacobi de ordinul n (continuanta uniformă) ;

$$\boldsymbol{Q}_n=\begin{bmatrix} (1+q^1)\,q^0 & (1+q^1)\,q^1 & (1+q^1)\,q^{n-1} \\ (1+q^1)\,q^1 & (1+q^3)\,q^0 & (1+q^3)\,q^{n-2} \\ . & . & . \\ (1+q^1)\,q^{n-1} & (1+q^3)\,q^{n-2} & (1+q^{2n-1})\,q^0 \end{bmatrix}$$

— matricea de ordinul n a cuplajelor inductive dintre toate secțiunile de calcul.

Folosind aceste notații, ecuațiile diferențiale matriceale ale fenomenului de impuls se pot scrie sub forma :

$$\boldsymbol{D}_{n-1,n}\,\boldsymbol{i}=\boldsymbol{K}(\boldsymbol{C}_{n-1}+a\boldsymbol{E}_{n-1})\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{u}-\boldsymbol{K}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}U(t)\,\boldsymbol{e}_{n-1}\,; \tag{4}$$

$$-\boldsymbol{D}^*_{n-1,n}\,\boldsymbol{u}=\boldsymbol{M}_0\boldsymbol{Q}_n\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}-U(t)\,\boldsymbol{e}_n \tag{5}$$

Notînd :

$$\boldsymbol{F}(i)=\boldsymbol{D}_{n-1,n}\sqrt{\boldsymbol{M}_0}\,\boldsymbol{i}\,;$$

$$\boldsymbol{F}(u)=\sqrt{\boldsymbol{K}}\boldsymbol{u}\,;$$

$$\boldsymbol{Z}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{F}(u)\\ \boldsymbol{F}(i)\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{A}=\nu\begin{bmatrix}\boldsymbol{0} & [\boldsymbol{C}_{n-1}+a\boldsymbol{E}_{n-1}]^{-1}\\ -\boldsymbol{D}_{n-1,n}\boldsymbol{Q}_n^{-1}\,\boldsymbol{D}^*_{n-1,n} & \boldsymbol{0}\end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{g}=\begin{bmatrix}(\boldsymbol{C}_{n-1}+a\boldsymbol{E}_{n-1})^{-1}\boldsymbol{e}_{n-1}\dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}U(t)\\ \nu\boldsymbol{D}_{n-1,n}\,\boldsymbol{Q}_n^{-1}\boldsymbol{e}_n\,U(t)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\epsilon_1\dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}U_k\\ \epsilon_2\,\nu\,U_k\end{bmatrix},$$

unde :

$$U_k=\sqrt{K}\,U(t).$$

Folosind notațiile de mai sus, se ajunge la o ecuație diferențială hipermatriceală de ordinul 1 :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{Z}=\boldsymbol{A}\boldsymbol{Z}+\boldsymbol{g}. \tag{6}$$

Eliminînd matricea $\boldsymbol{i}$ din relațiile (4) și (5), se poate obține o ecuație diferențială matriceală de ordinul doi pentru calculul potențialelor nodurilor din schema echivalentă, avînd forma :

$$\frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{u}=\alpha\boldsymbol{U}+\beta_1U(t)+\beta_2\frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}t^2}U(t), \tag{7}$$

unde :

$$\alpha=-\nu^2(\boldsymbol{C}_{n-1}+a\boldsymbol{E}_{n-1})^{-1}\boldsymbol{D}_{n-1,n}\,\boldsymbol{Q}_n^{-1}\,\boldsymbol{D}^*_{n-1,n}\,;$$

$$\beta_1=\nu^2(\boldsymbol{C}_{n-1}+a\boldsymbol{E}_{n-1})^{-1}\boldsymbol{D}_{n-1,n}\boldsymbol{Q}_n^{-1}\boldsymbol{e}_n\,;$$

$$\beta_2=(\boldsymbol{C}_{n-1}+a\boldsymbol{E}_{n-1})^{-1}\,\boldsymbol{e}_{n-1},$$

iar :

$$\nu^2=\frac{1}{\boldsymbol{M}_0\boldsymbol{K}}.$$

Expresia lui $U(t)$ din toate ecuațiile de mai sus depinde de unda de impuls aplicată.

În cazul undei pline, 1/50 μs :

$$U(t)=1{,}032\ (e^{-0{,}015\cdot10^6t}-e^{-3\cdot10^6t}). \tag{8}$$

În cazul undei dreptunghiulare (rampei unitare) :

$$U(t)=\begin{cases}0 \text{ pentru } t<0\\ 1 \text{ pentru } t\geqslant 0\end{cases}. \tag{9}$$

Pentru calculul gradienților de tensiune între galeți se utilizează relația :

$$\boldsymbol{G}=\begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ . \\ . \\ . \\ g_n \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} U(t)-u_1 \\ u_1-u_2 \\ . \\ . \\ . \\ u_{n-1}-0 \end{bmatrix} \tag{10}$$

2. Soluţia analitică în cazul undei dreptunghiulare

Soluţia analitică a ecuaţiei diferenţiale hipermatriceală de ordinul unu (6), cuprinzînd potenţialele tuturor nodurilor şi curenţii tuturor secţiunilor de calcul în cazul undei de impuls dreptunghiulare va fi similară ca în [1], [6]:

$$\boldsymbol{Z} = e^{\boldsymbol{A}t}\,\boldsymbol{Z}(0) - \boldsymbol{A}^{-1}(\boldsymbol{E} - e^{\boldsymbol{A}t})\begin{bmatrix} \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{\epsilon}_2\ \nu\ U_{ko} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

unde:

$$\boldsymbol{Z}(0) = \begin{bmatrix} \sqrt{K}\,\boldsymbol{u}(0) \\ \boldsymbol{D}_{n=1,n}\sqrt{M_0}\,\boldsymbol{i}(0) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} (\boldsymbol{C}_{n-1} + a\boldsymbol{E}_{n+1})^{-1}\,\boldsymbol{e}_{n-1}\,U_k(0) \\ \boldsymbol{0} \end{bmatrix},$$

hipermatricea care conţine toate condiţiile iniţiale pentru potenţiale şi curenţii din schemă.

Expresia (11) redînd în formă canonică pentru potenţialul nodurilor din schemă, se obţine următoarea relaţie:

$$\boldsymbol{u} = U \sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{w_{1k}}{\lambda_k}\left(1 - \frac{a}{a+\lambda_k}\cos\omega_k t\right)\boldsymbol{w}_k. \quad (12)$$

Rezultă că potenţialul unui nod „s" din schemă se calculează cu ajutorul formulei:

$$u_s(t) = U \sum_{k-1}^{k=n-1} \frac{w_{1k}}{\lambda_k}\left(1 - \frac{a}{a+\lambda_k}\cos\omega_k t\right) w_{sk}, \quad (13)$$

în care:

$$w_{sk} = \sqrt{\frac{2}{n}}\sin\frac{sk\pi}{n};$$

$$\lambda_k = 4\sin^2\frac{k\pi}{2n}; \quad \omega_k = \sqrt{\frac{\Phi_k\,\gamma_k}{M_0 K}}; \quad \Phi_k = \frac{1}{a+\lambda_k};$$

$$\gamma_k = \frac{1}{1+q-2q^2-2q^3+q^4+q^5}\{(q+q^2-$$

$$-q^3-q^4)\lambda_k^2 + (1-q-2q^2+2q^3+q^4-q^5)\lambda_k\}$$

şi k — număr curent care variază de la 1 pînă la $(n-1)$.

Determinarea seriei de valori proprii ω_k a fost posibilă după găsirea inversei matricei $Q_n(Q_n^{-1})$ a cuplajelor inductive din schema echivalentă a transformatorului cu borna de intrare la mijlocul înfăşurării, în forma ei generală:

$$Q_n^{-1} = \frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix}
1-q^2+q^3-q^5 & -q-q^2+q^3+q^4 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
-q-q^2+q^3+q^4 & 1+q-q^4-q^5 & -q-q^2+q^3+q^4 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
0 & -q-q^2+q^3+q^4 & 1+q-q^4-q^5 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
0 & 0 & 0 & \dots & 1+q-q^4-q^5 & -q-q^2+q^3+q^4 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & \dots & -q-q^2+q^3+q^4 & 1+q-q^4-q^5 & -q-q^2+q^3+q^4 & \dots & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -q-q^2+q^3+q^4 & 1+q-q^4-q^5 & \dots & 0 & 0 \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 1+q-q^4-q^5 & -q-q^2+q^3+q^4 \\
0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & -q-q^2+q^3+q^4 & 1+q-q^2-q^3
\end{bmatrix}$$

unde :

$$\Delta = 1 + q - 2q^2 - 2q^3 + q^4 + q^5.$$

Expresia analitică (13) dă posibilitatea cercetării influenței aplicării diferitelor tipuri de întrețesere asupra frecvențelor proprii ale fenomenului tranzitoriu de impuls (și în consecință indirect a duratei solicitărilor izolației) și asupra caracterului rezonant al înfășurării (deci indirect asupra valorilor maxime ale aceleași solicitări). În figura 2, de exemplu, sînt reprezentate armonicile fundamentale ale potențialelor pentru o înfășurare de 400 kV, cu intrare la mijloc, executată în patru variante :

varianta I —fără întrețesere ;
varianta II —cu întrețesere tip Englisch Electric ;
varianta III —cu întrețesere tip Savoisienne ;
varianta IV —cu întrețesere tip Ganz.

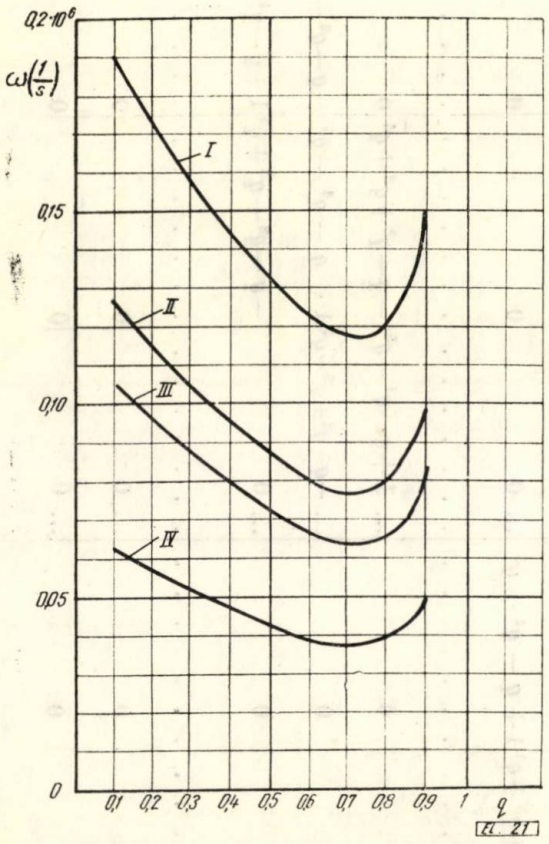


Fig. 2. Variația frecvenței armonicilor fundamentale ale potențialelor în funcție de modul de întrețesere și intimitatea cuplajelor inductive între galeți (secțiune de calcul).

3. Analiza eficienței diferitelor sisteme de întrețesere a înfășurărilor cu ajutorul calculatorului cifric Elliott-4100

Pentru cercetarea eficienței diferitelor sisteme de întrețesere, în repartizarea uniformă a tensiunii pe modelul matematic menționat mai sus, a fost întocmit un program, redactat

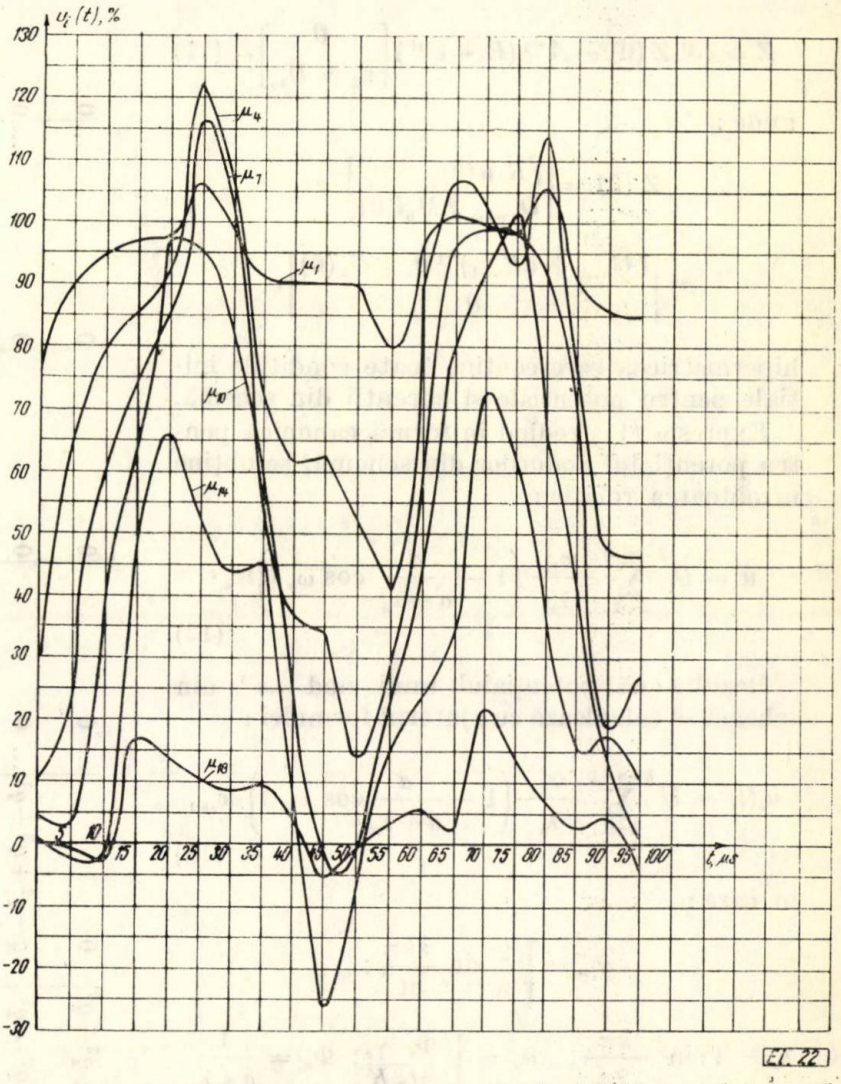


Fig. 3. Variația potențialelor diverselor puncte din înfășurarea neîntrețesută, în funcție de timp.

în limbajul convențional ALGOL, particularizat pentru calculatorul Elliott-4100. Acest program a fost denumit POTENȚIOGRAMA cu care începe desfășurarea programului în calculator. Programul în general este valabil pentru calculul repartiției tensiunii atît la transformatoare cu borna de intrare la mijloc, cît și la transformatoare cu borna de intrare la un capăt al înfășurării. Diferența în cele două cazuri constă în date inițiale diferite care se

introduc în mașină, respectiv se citesc la lector și în calculul diferit al valorilor proprii λ_k (avantajul metodei matriceale de formulare matematică a problemei). Programul denumit POTENȚIOGRAMA începe cu declararea variabilelor întregi: I (semnal de selectare a calculului celor două cazuri menționate); S (numărul curent al nodului din schema echivalentă); K (numărul curent al armonicii din care se compune spectrul); N (numărul secțiunilor de calcul); NI (numărul secțiunilor de calcul minus 1) și a variabilelor reale: A (reprezintă raportul capacității transversale față de cea longitudinală din schema echivalentă); MO (reprezintă inductanțele proprii ale secțiunilor de calcul); C (reprezintă capacitatea longitudinală a secțiunii de calcul); T (timpul); H (pasul cu care se efectuează calculul); $H2$ (reprezintă timpul final); $M1$ (reprezintă o valoare constantă $\sqrt{\frac{2}{n}}$; Q (reprezintă constanta q, care determină caracterul de variație a funcției inductanței mutuale de-a lungul înfășurării); Q_1, Q_2, Q_3 (reprezintă coeficienți în expresia valorilor proprii ai lui γ_k). În continuare se citesc (se introduc) valorile: I, N, MO, C, Q, A, H, $H2$, după care se declară șirurile L (valorile proprii ale matricei C_{n-1}); W (matricea vectorilor proprii ai matricei C_{n-1}); U (matricea potențialelor); G (valorile proprii γ_k); FI (valorile proprii Φ_k); CS (reprezintă spectrul armonicilor).

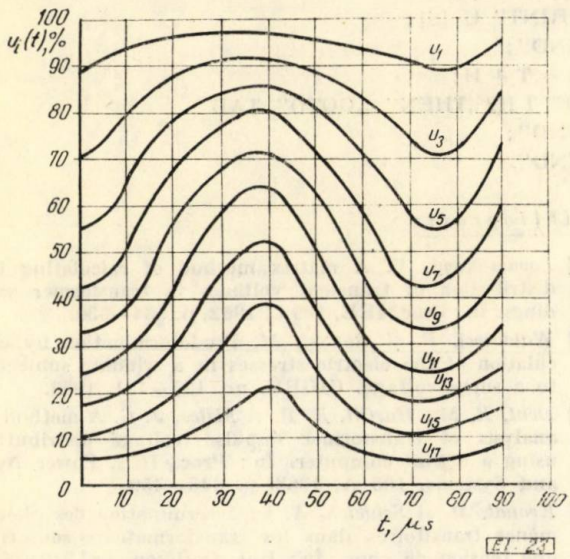


Fig. 4. Variația potențialelor diverselor puncte din înfășurarea întrețesută după tipul ENGLISH ELECTRIC, în funcție de timp.

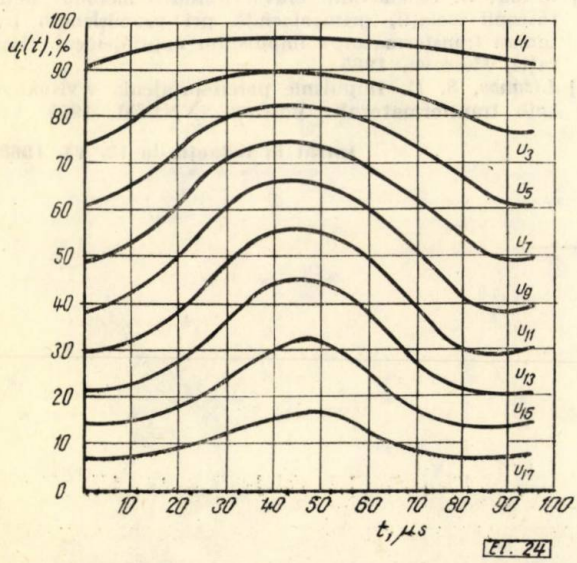


Fig. 5. Variația potențialelor diverselor puncte din înfășurarea întrețesută după tipul SAVOISIENNE, în funcție de timp.

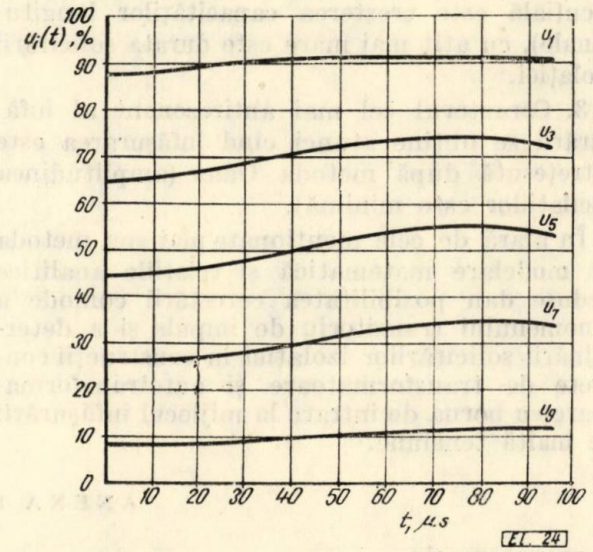


Fig. 6. Variația potențialelor diverselor puncte din înfășurarea întrețesută după tipul GANZ, în funcție de timp.

Calculul mai departe se desfășoară după programul anexat.

Rezultatele calculelor sînt reprezentate în figurile 3, 4, 5 și 6.

4. Concluzii

Din cercetările teoretice și din calculele efectuate pe calculatorul Elliott-4100 expuse mai sus rezultă o serie de particularități importante ale transformatoarelor și autotransformatoarelor de foarte înaltă tensiune și mare putere cu borna de intrare la mijloc, și anume:

1. Față de înfășurările cu borna de intrare la un capăt se modifică spectrul frecvențelor proprii.

2. În funcție de modul de întrețesere a bobinajelor crește perioada armonicilor de la înfășurare fără întrețesere, la înfășurări între-

țesute după metoda English Electric, Savoisienne, pînă la înfășurări întrețesute după metoda Ganz. De aici rezultă că, cu cît mai eficientă este întrețeserea (adică cu cît mai esențială este creșterea capacităților longitudinale), cu atît mai mare este durata solicitării izolației.

3. Caracterul cel mai antirezonant al înfășurării se obține atunci cînd înfășurarea este întrețesută după metoda Ganz (amplitudinea oscilațiilor este minimă).

În afară de cele menționate mai sus, metoda de modelare matematică și relațiile analitice deduse dau posibilitatea cercetării comode a fenomenului tranzitoriu de impuls și a determinării solicitărilor izolației în construcții concrete de transformatoare și autotransformatoare cu borna de intrare la mijlocul înfășurării de înaltă tensiune.

ANEXA 1

```
POTENȚIOGRAMA;
„BEGIN";
„INTEGER" I,S,K,N,N1;
„REAL" A, MO,C,T,H,H2,M1,Q,Q1,Q2,Q3;
„READ" N,MO,C,Q,A,H,H2,I,N1: = N−1;
„BEGIN"
„ARRAY" L[1:N1], W [1:N1, 1:N1], U[1:N1], G[1:N1],
  FI[1:N1], CS[1:N1];
„FOR" K: = 1,„STEP"1"UNTIL„N1„DO"
L[K]: = 4*SIN(1.570796 K / N)↑2;
C: = MO*C;
„IF"I = 1„THEN" „GOTO" SERIE;
Q3: = Q; Q2: = 1/(1 − Q↑2); Q1: = (1−Q)↑2;
„GOTO"L2;
SERIE:Q2: = 1/((((((Q + 1)*Q−2)*Q)−2*Q+1)*
*Q + 1);
Q3: = −Q↑4 − (Q↑3) + (Q↑2) + Q;
Q1: = 1−Q−2*(Q↑2) + 2*(Q↑3) + Q↑4−Q↑5;
L2:M1: = SQRT(2/N);
„FOR"S: = 1 „STEP" 1 „UNTIL" N1 „DO"
„FOR"K: = 1„STEP" 1 „UNTIL" N1 „DO"
W[S,K]: = M1*SIN (3.141593*K*SIN);
„FOR" K: = 1 „STEP" 1 „UNTIL" N1 „DO"
„BEGIN"
G[K]: = Q2 (Q3*L[K]↑2 + Q1*L[K]);
FI[K]: = 1/(L[K] + A);
G[K]: = SQRT (G[K]*FI[K]/C);
FI[K]: = A*FI[K];
„END"
T: = Ø;
TAB: „PRINT" T;
„FOR" K: = 1 „STEP" 1 „UNTIL" N1 „DO"
CS[K]: = COS (G[K]* T);
„FOR" S: = k „STEP" 1 „UNTIL" N1 „DO"
„BEGIN" U[S]: = Ø;
„FOR"K: = 1„STEP" 1 „UNTIL" N1 „DO"
U[S]: = U[S] + (W[1,K]/L[K])*(1−FI[K]*CS
  [K]*W [S,K]);
„PRINT" U [S];
„END";
T: = T + H;
„IF" T H2 „THEN" „GOTO" TAB
„END";
„END".
```

Bibliografie

[1] *Lovass-Nagy, V.* A matrix method of calculating the distribution of transient voltages in transformer windings. În: Proc. IEE, 109 C, 1962, p. 534—539.

[2] *Waldvogel, P.* și *Rouxel, M.* Predetermination by calculation of the electric stresses in a winding subjected to a surge voltage. CIGRÉ, nr. 125—131, 1956.

[3] *Dent, B. M., Hartill, E. R.* și *Miles, J. G.* A method of analysis of transformer impulse voltage distribution using a digital computer. În: Proc. IEE, Power App. and Systems, 105 A, 1968, p. 445—459.

[4] *Krondl, M.* și *Schleich, A.* Predetermination des phénomènes transitoires dans les transformateurs soumis à une tension de choc. În: Bul. Oerlikon, nr. 342—343, 1960, p. 114—133.

[5] *Jayaram, B. N.* Bestimmung der Stosspannungsverteilung in Transformatoren mit Digitalrechner. În: ETZ-A **82**, nr. 1, ian 1961, p. 1—9.

[6] *Máthé, B.* Issledovanie ciuvstvitelnosti metodov defektoscopii izolații, primeniaemîh pri promîșlennîh ispîtaniah transformatorov impulsnîm napriajeniem. Disertație, Moscova, 1965.

[7] *Lizunov, S. D.* Impulsnîe perenapriajenia v vîsokovoltnîh transformatorah. Moscova, VNIEM, 1965.

Intrat în redacție la 13. VI. 1968

Oscilograme caracteristice pentru descărcările parțiale ce se dezvoltă în aer și ulei

Florin Tănăsescu* — București

CZ 621.315.615+618.015.51:537.523.3

1. Oscilograful în schemele de măsurare a descărcărilor parțiale ce apar în anumite medii

Aerul și uleiul intră în componența multor scheme de izolație prezente în echipamentele de înaltă tensiune, încît studierea modului de desfășurare și formelor caracteristice ale descărcărilor parțiale (etapă premergătoare unei străpungeri complete a intervalului dintre electrozi), prezintă un deosebit interes în urmărirea comportării unui echipament.

Numeroase au fost schemele de măsurare a descărcărilor parțiale elaborate în ultimii ani [1 — 7], pentru mașini și transformatoare, cabluri sau izolația externă a liniilor și echipamentelor aferente ei. Datorită însă particularității lor constructive, n-au putut fi elaborate aparate cu posibilitatea de utilizare mai generală, pentru mai multe echipamente, bineînțeles în cadrul aceleiași limite de sensibilitate.

În prezent literatura tehnică menționează două grupe mari de metode din care derivă și aparaturile corespunzătoare: metode neelectrice și cele electrice; din ultima categorie, în general metode cu un grad de precizie mai ridicat, se disting metodele de punte, sau de culegere a impulsului produs de o descărcare parțială pe o impedanță de măsură (rezistență sau un circuit acordat).

Întrucît impulsurile culese au o valoare relativ mică, se impune o amplificare în bandă largă, sau selectiv în jurul unor anumite frecvențe, apărînd astfel aparatele de măsură în bandă largă sau îngustă. Pentru ca impulsurile înregistrate să nu fie influențate de către circuitele de măsură, se recomandă folosirea unor metode în bandă largă, cu toate dificultățile inerente ce apar (calcularea unor circuite cu constante de timp mici, utilizarea unor oscilografe cu amplificare în bandă largă, ecranări bine realizate). De fapt, la început, tocmai datorită caracterului mai „industrial" pe care îl prezentau aparatele în bandă îngustă și faptului că nu necesitau ecranări speciale, ele au fost utilizate la încercările echipamentelor pe platforme, deși impulsul cules pe sistemul de măsură era cu totul altul decît cel de la locul defectului. În această situație înregistrările oscilografice aveau un caracter relativ și dădeau puține informații asupra parametrilor impulsului real, motiv pentru care oscilograful era recomandat doar ca aparat ce furniza indicații cu caracter calitativ în aprecierea și desfășurarea unor fenomene.

Cercetările ultimilor doi ani au arătat că la aprecierea nivelului de descărcări și a mecanismului desfășurării lor într-un echipament, completarea măsurătorilor în banda îngustă cu unele în bandă largă poate da indicații deosebite constructorului sau inginerului de platformă. În această situație, plasarea unui osciloscop cu caracteristici potrivite într-o asemenea schemă ai cărei parametri sînt bine determinați, ar completa indicațiile obținute cu alte aparaturi, ar permite stabilirea onor oscilograme tipice funcție de mediul în care are loc descărcarea și ar da posibilitatea de recunoaștere a defecțiunii la încercarea unui echipament, după forma oscilogramei; în afară de aceasta, înregistrările oscilografice mai pot da indicații privind domeniul de amplitudine a impulsurilor și posibilitatea de măsurare a lor, intervalul de timp dintre descărcări succesive, momentul apariției descărcărilor în perioada tensiunii alternative de încercare (pe porțiunea de pantă maximă a curbei, pe maxim etc.).

2. Sistemul de electrozi și schema de măsurare utilizată

Dintre sistemele de electrozi posibil de a fi utilizate s-a folosit un sistem vîrf-placă, dată fiind neuniformitatea cîmpului pe care acesta îl oferă la aplicarea unei tensiuni înalte. Repartiția cîmpului obținută printr-o modelare pe o cuvă electrolitică a scos în evidență neuniformitatea cîmpului, 20% din tensiunea aplicată repartizîndu-se pe 2,1 % din spațiul dintre electrozi.

Pentru eliminarea influenței mediului exterior asupra mecanismului descărcării, sistemul de electrozi a fost dispus într-o incintă de sticlă, ecranată la cele două extremități. Placa, plasată la partea inferioară a dispozitivului, are o poziție fixă, varierea distanței de eclatare efectuîndu-se prin deplasarea vîrfului cu diametrul 0,12 mm, cu ajutorul unui sistem micrometric. Rezistența de măsură, a cărei valoare — din analiza schemei — a rezultat 37,5 Ω, a fost dispusă la partea de jos a dispozitivului într-o incintă specială ecranată, separată de prima în care putea fi studiat atît aerul, cît și uleiul; ieșirea spre amplificatorul osciloscopului se face printr-un cablu coaxial, pentru a evita influența surselor de perturbații externe asupra măsurării. În cazul alveo-

* Dr. ing. *Fl. Tănăsescu* este secretar științific la Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică.

lelor deschise sau închise între electrozi turnați în rășini epoxidice s-au folosit unele construcții speciale descrise într-un alt număr al aceleiași reviste [8].

Schema de măsură prezentată pe larg în altă lucrare [9] cuprinde în principiu sursa de înaltă tensiune reglabilă, dispozitivul de încercare descris anterior, sistemul de măsură și un osciloscop în bandă largă, tip Ribet-Desjardins.

3. Rezultate experimentale

În vederea analizării impulsurilor obținute în diferite medii, caracterizarea lor se va face după trei parametri: amplitudinea impulsului, durata convențională a frontului T_1 și durata convențională de semiamplitudine, T_2; stabilirea lui T_1 și T_2 s-a făcut conform ultimelor recomandări CEI [10].

3.1. *Oscilograme caracteristice pentru descărcări în aer.* Pentru diferite distanțe de eclatare d ale sistemului de electrozi vîrf-placă (V-P) dispus în incinta de încercare și aplicînd tensiuni de c.c. sau c.a., s-au înregistrat impulsurile pozitive sau negative ce apar în circuitul de măsură.

Oscilograma din figura 1, *a* este caracteristică unui sistem de electrozi la care se aplică o tensiune alternativă suficient de mare pentru a permite apariția ambelor tipuri de impulsuri; cele negative la partea inferioară a curbei au o valoare mică, dar sînt foarte dese comparativ cu cele pozitive, plasate deasupra abscisei, rare, dar de amplitudini mari; distanța dintre două grupuri de impulsuri este la o semiperioadă de 50 Hz.

În condițiile în care vîrful are polaritatea negativă oscilogramele înregistrate pun în evidență existența unor fenomene de mare regularitate, evoluția impulsurilor în timp și amplitudine fiind similară unor oscilații de relaxare, așa cum a fost stabilit de Trichel [11], [12] pentru un singur vîrf.

Mecanismul și evoluția fenomenului în condiții variate de încercare sau elemente geometrice diferite ale sistemului de electrozi au fost descrise în literatură [9], [11] — [15]. Trenul de impulsuri ce apare după depășirea pragului de apariție al descărcării (fig. 1,*b*) se caracterizează prin echidistanța impulsurilor componente (fig. 1,*c*) și o amplitudine constantă la o aceeași tensiune aplicată; creșterea în continuare a tensiunii conduce la mărirea frecvenței impulsurilor, care se traduce printr-o îndesire a lor, formarea unei pînze continue, după care urmează străpungerea.

Oscilogramele acestea au un caracter distinct fiind comune nu numai vîrfului-placă de anumite dimensiuni în aer, ci și altor sisteme reale din construcția echipamentelor ca: muchii ascuțite, alte forme de electrozi, care sub tensiune descarcă în aer față de pămînt (considerat o placă infinită). *Impulsurile din oscilograma 1.c sînt caracteristice pentru izolația externă a aparatajului de înaltă tensiune între părți metalice sub tensiune, avînd aerul ca dielectric; de asemenea și pentru alte echipamente ce conțin asemenea dispoziții de electrozi în aer.*

Un impuls izolat din trenul de impulsuri din figura 1, *c* este dat în figura 1, *d*.

Impulsurile negative au amplitudini variate depinzînd de tensiunea aplicată (dar constante în cadrul trenului la aceeași tensiune); de dimensiunile geometrice ale sistemului de electrozi și distanța de eclatare; în general însă cuprinse în gama zeci pînă la sute de mV. Frecvența descărcărilor este de ordinul 10^4 — 10^7 impulsuri/s, valorile mari fiind la tensiuni ridicate, dar distanțe mici de eclatare între electrozi.

Durata convențională de creștere a frontului T_1 nu depășește 20 — 23 ns, iar durata convențională de semiamplitudine T_2, 50 — 60 ns.

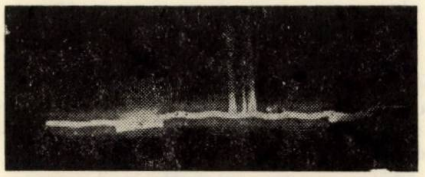
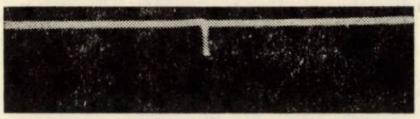
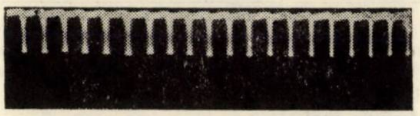
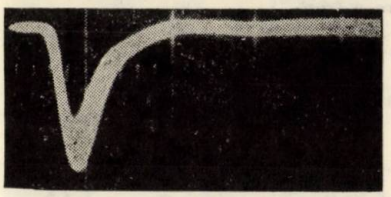
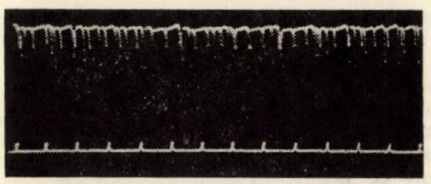
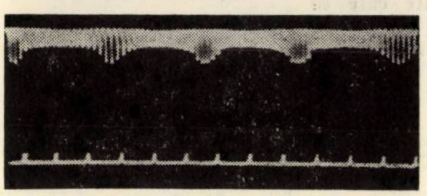
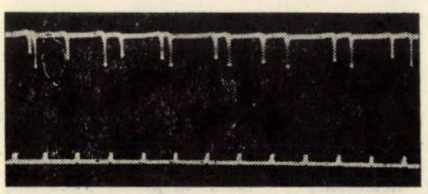
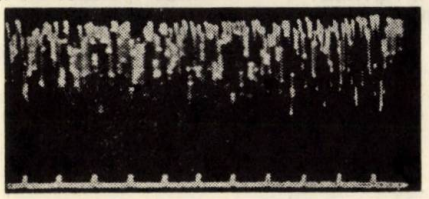
În cazul existenței mai multor vîrfuri care descarcă față de placă (sau la extrapolare chiar față de pămînt), oscilogramele pierd întrucîtva caracterul de regularitate, dar prezintă particularități distincte.

Astfel, numeroasele experimentări făcute cu vîrfuri multiple arată și pentru aceste situații menținerea regularității fenomenului în cadrul aceluiași tren de impulsuri. Apariția în oscilogramă a mai multor trenuri, corespunzînd diverselor vîrfuri ce descarcă, cu componente de amplitudini și frecvență variabile, funcție de valoarea tensiunii aplicate, conduce la suprapuneri din care rezultă impulsuri de amplitudini mult mai mari; oscilogramele au forme caracteristice după cum rezultă din figurile 1, *e* și *f*, unde este dată descărcarea unui sistem de două vîrfuri față de placă, la două valori a tensiunii aplicate și pentru o distanță de eclatare $d = 4$ mm.

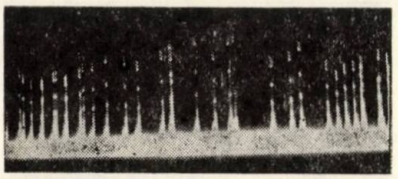
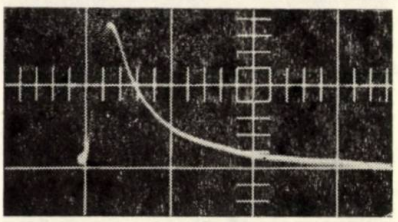
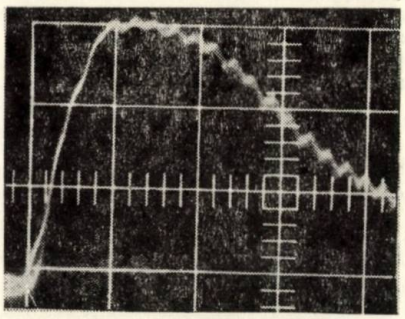
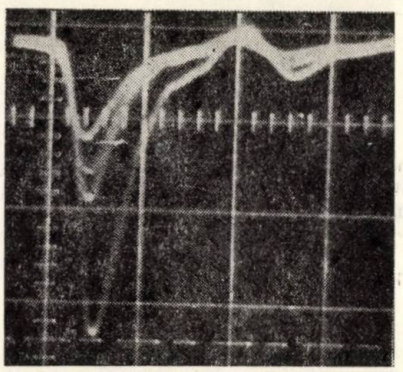
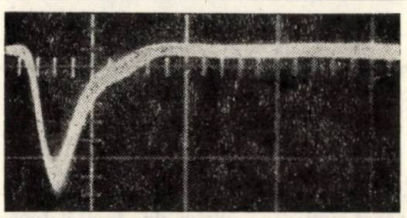
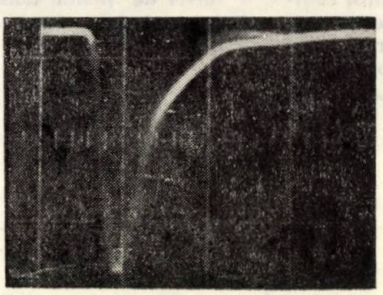
Se observă că existența doar a două vîrfuri care descarcă face ca fenomenul să aibă o mare regularitate, lucru care nu se mai întîmplă în cazul a mai multor vîrfuri, așa cum apare în oscilogramele din figurile 1,*g* și *h*, pentru două valori a tensiunii.

Frecvența, ca și amplitudinea diferită a impulsurilor, aparținînd diverselor trenuri, așa cum apar în oscilograme, se datoresc probabil, unor distanțe de eclatare diferite față de placă sau a elementelor geometrice a vîrfurilor; acest lucru, împreună cu decalarea în timp a impulsurilor, permit însă stabilirea de pe oscilogramă a numărului de locuri care descarcă. La valori ridicate ale tensiunii (fig. 1,*h*) separarea impulsurilor produse de diferite vîrfuri ce descarcă devine greoaie.

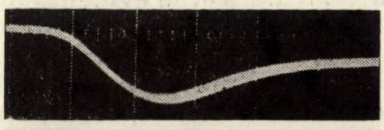
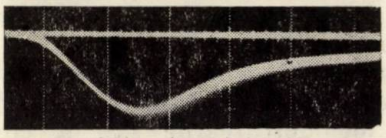
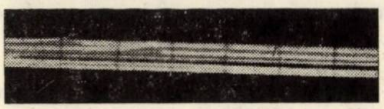
Fig. 1. Oscilograme ce caracterizează unele defecte tipice în dielectrici cu descărcări parțiale

	Forma descărcărilor	Caracteristici	Originea
a		impulsuri negative și pozitive, amplitudinea primelor mai mică	descărcare parțială în curent alternativ, la o tensiune ce permite apariția ambelor tipuri de impulsuri
b		impulsuri negative, regulate ca desfășurare, amplitudine zeci pînă la sute de mV; frecvența de ordinul $10^4 - 10^7$ imp/s, crește cu tensiunea aplicată: 1 cm X = 100 ns 1 cm Y = 100 mV	descărcare caracteristică în aer între un vîrf la minusul sursei de înaltă tensiune și un electrod placă
c			
d			
e		două trenuri de impulsuri, cu amplitudini egale sau diferite, care se pot compune; forma impulsurilor din cele două trenuri identică: 1 div. X = 100 ns	două vîrfuri la minusul sursei de înată tensiune care descarcă față de un electrod placă; muchii metalice puse la un potențial negativ ridicat, în fața unor suprafețe metalice (cuve, ecrane etc.) la alt potențial
f			
g		trenuri de impulsuri de amplitudine diferită, din a căror compunere rezultă un spectru neregulat. Dificilă separația impulsurilor specifice; forma impulsurilor din trenuri, identică cu 2 și 3	cel puțin trei vîrfuri la minusul sursei de înaltă tensiune care descarcă față de o suprafață metalică
h			

(Fig. 1, urmare)

	Forma descărcărilor	Caracteristici	Originea
i *j*	 	impulsuri aproximativ egale ca amplitudine, mai rare ca cele negative; frecvența 200 —1 000 imp/s, dar de valoare mult mai ridicată (2—4 ori): 1 cm X = 100 ns 1 cm Y = 0,5 V	descărcare între un vîrf pus la potențialul pozitiv al sursei de înaltă tensiune și o suprafață metalică
k		impulsuri inegale ca amplitudine; frecvență mai mică a descărcărilor 200 — 1 000 imp/s; amplitudine 2—10 V; impuls mai lent, timpul de creștere a frontului de 2—3 ori mai mare ca la aer, dar mai lat de 2,5—3,5 ori; 1 cm X = 200 ns 1 cm Y = 2 V	descărcare într-o bulă gazoasă aflată în uleiul dintre electrozi
l		impulsuri care se deosebesc de cele din aer prin amplitudini mai mari mergînd pînă la 12 V; timpul de creștere al impulsului T_1, aproximativ 23 ns, identic ca al descărcărilor ce au loc în aer; suprapunerea mai multor impulsuri ce provin din locuri diferite care se descarcă: 1 cm X = 100 ns 1 cm Y = 2 V	impulsuri în alveolele unui dielectric
m *n*	 	impulsuri a căror amplitudini cresc cu tensiunea aplicată. Forma lor fie specifică bulei în ulei, fie alveolei din dielectric; în figură impulsuri în alveolă: 1 cm X = 100 ns	descărcări în bulele de ulei sau într-un dielectric cu alveole. Precizarea mediului în care au loc, se poate face după caracteristicile specifice fiecărui impuls

(Fig. 1, urmare)

	Forma descărcărilor	Caracteristici	Originea
o		impulsuri a căror amplitudine variază foare puțin cu tensiunea aplicată : 1 cm X = 20 ns	dielectric bun, cu alveole puține, a căror influență se face simțită doar la tensiuni mai ridicate
p			
q		impulsuri mici ca amplitudine, dar numeroase, care apar la valori relativ coborîte ale tensiunii aplicate	dielectric cu mulți pori în care apar descărcări parțiale
r		o pînză continuă, cu o înălțime depinzînd de amplificator, întinsă pe toată lungimea ecranului osciloscopului	contacte metalice proaste și legături la pămînt slabe

În condițiile în care vîrful capătă polaritate pozitivă, oscilogramele arată că impulsurile se amorsează la o tensiune mai ridicată decît cele negative, au amplitudinea de 3 — 5 ori mai mare, dar apar într-un număr mult redus față de cele negative (fig. 1, *i*).

În figura 1, *j* este dată oscilograma unui impuls pozitiv obținut la un sistem de electrozi vîrf-placă, cu vîrful de polaritate pozitivă, din care rezultă pentru T_1 și T_2 valori asemănătoare celor stabilite la descărcările cu vîrf negativ. Amplitudinile sînt însă mai ridicate, mergînd pînă la 1 V, iar frecvența mai redusă, 200 — 1000 impulsuri/s.

3.2. *Oscilograme caracteristice pentru descărcări în ulei.* Dintre dielectricii utilizați în izolația echipamentelor de înaltă tensiune uleiurile ocupă un loc important pentru separarea unor părți metalice aflate la potențiale diferite sau la impregnarea unor înfășurări (cabluri, transformatoare etc.).

Prezența unor bule cu gaz în acești dielectrici, bule apărute, fie datorită unei degazări incorecte, fie neuniformității cîmpului electric în jurul unui vîrf metalic aflat la un potențial înalt, care descarcă față de alte piese metalice, favorizează apariția unor gradienți mai ridicați în bula gazoasă decît în restul de dielectric, intensificînd procesul de disociere al uleiului.

Apa sub formă de picături minuscule, ca și alte particule existente în ulei, influențează în aceeași măsură procesul stabilirii descărcărilor.

Iluminarea slabă a spațiului dintre electrozi cufundați în ulei, observată în timpul experimentărilor la aplicarea tensiunii, pledează pentru un mecanism de descărcare prin ionizări succesive. Nikuradse [16] ca și Hippel [17] studiind evoluția procesului de apariție al descărcărilor parțiale în ulei, presupun că străpungerea în lichide are loc ca și în gaze prin formarea de avalanșe între electrozi; descărcările parțiale în ulei se propagă în toate direcțiile (mult mai greu decît în aer), plecînd de la electrodul vîrf cu formarea unor canale de conductivitate mai mare, dintre care doar unul unește cei doi electrozi, așa cum rezultă din numeroasele înregistrări pe hîrtie fotografică.

Trebuie precizat însă că numărul de descărcări ce se stabilește la aplicarea unor tensiuni înalte sistemului de electrozi cufundat în ulei este mult mai mic decît la cel corespunzător în aer. Parcursul liber al moleculei, alt mecanism de formare și deplasare a sarcinii spațiale, par a fi numai cîteva din cauzele probabile; de asemenea, numărul de descărcări este diferit la alimentarea electrozilor în c.c. sau c.a.

O alură cu totul diferită au descărcările ce apar între electrozii dispuși în ulei, comparativ cu cele prezentate la aer. Oscilograma din figura 1, *k*, reprezintă o descărcare tipică în ulei; de aici rezultă că impulsurile sînt mult mai lente, durata lor de semiamplitudine T_2 fiind de 7—800 ns față de 50—60 ns înregistrată la impulsurile în aer; durata convențională a frontului T_1 are de asemenea o valoare mai mare, $\approx$ 60 ns.

Amplitudinea impulsurilor nu mai este egală, observîndu-se o dispersie a valorilor în plaja de 2—10 V. Timpul de creștere al frontului este de 2—3 ori mai mare ca la aer, dar în schimb, impulsul conține o cantitate de electricitate q, mult mai mare ca cele din aer sau alveole artificiale.

Impulsul din oscilogramă este specific descărcărilor într-o bulă gazoasă aflată în uleiul dintre electrozi, și permite stabilirea unor mijloace rapide de defectoscopie.

3.3. *Oscilograme caracteristice în alveolele unor dielectrici.* Experimentările efectuate atît pe alveole artificiale, cît și pe alveole încastrate, au scos în evidență faptul că parametrii impulsului privind forma T_1 și T_2, au aceleași valori ca cele stabilite la aer; amplitudinile în schimb au valori mult mai ridicate.

Amplitudinea impulsurilor negative și pozitive crește cu tensiunea aplicată, deosebindu-se astfel de descărcările în aer la care numai impulsul pozitiv are o variație crescătoare funcție de tensiune, și aceasta într-o zonă limitată a tensiunii aplicate.

În figura 1,*m* și *n* se prezintă oscilogramele unor descărcări a căror amplitudini cresc cu tensiunea aplicată (cele două situații date corespund la două valori ale tensiunii); față de valorile lui T_1 și T_2, ele sînt caracteristice unei alveole.

3.4. *Alte oscilograme caracteristice.* Calitatea unui dielectric, sediu al unor descărcări parțiale, poate fi pusă în evidență după aspectul oscilogramelor ce le reprezintă. Astfel, obținerea unor impulsuri a căror amplitudine variază foarte puțin, sau rămîn constante la variația tensiunii aplicate (fig. 1, *o* și *p*), indică existența unui dielectric bun, cu alveole puține, a căror influență se face simțită doar la tensiuni mai ridicate; în schimb, scăderea amplitudinii impulsurilor la menținerea constantă a tensiunii poate însemna acoperirea pereților alveolei cu o peliculă semiconductoare care încetează procesul.

De asemenea, oscilograme care indică prezența unor impulsuri a căror amplitudine crește la menținerea constantă a tensiunii aplicate, caracterizează acei dielectrici la care, datorită pierderilor, ca și a celorlalte aspecte a descărcării, alveola își mărește diametrul.

Figurile 1, *q* și *r* pun în evidență alte două oscilograme tipice, și anume: prima caracterizează un dielectric cu pori mulți (impulsurile sînt mici ca amplitudine, numeroase și apar la valori coborîte ale tensiunii), iar a doua, existența unor contacte metalice proaste, ca și legături la pămînt necorespunzătoare.

4. Concluzii

4.1. Folosirea unor osciloscoape în bandă largă în schemele de măsură a descărcărilor parțiale permite o completare a datelor obținute prin metode selective sau de altă natură de apreciere a fenomenului. Cunoașterea caracteristicilor circuitelor de măsură și a amplificatoarelor osciloscoapelor din scheme dă posibilitatea stabilirii unor oscilograme caracteristice, funcție de mediul în care are loc descărcarea, permițînd recunoașterea defecțiunii la încercarea unui echipament, după forma oscilogramei.

4.2. Oscilogramele înregistrate în diferite medii de descărcare scot în evidență diferențieri esențiale ale parametrilor ce caracterizează impulsul în aer și ulei, și anume în ceea ce privește durata convențională a frontului, durata de semiamplitudine, amplitudinea și numărul de descărcări, ceea ce înlesnește stabilirea unor defectograme.

4.3. Unele din oscilogramele înregistrate pot da indicații asupra calității dielectricului în care au loc descărcările sau a comportării acestuia în timp, sub o tensiune aplicată.

4.4. Avantajele pe care le oferă *clasificarea* genurilor de defecte impun continuarea unor experimentări, în special pentru echipamente cu înfășurări (mașini sau transformatoare), la care, datorită reflexiei, fenomenul este mai complicat.

Bibliografie

[1] *Knosp, R.* La mesure globale du phénomène d'ionisation sur les machines tournantes. In: R.G.E., 8 série, t. **III**, nr. 26, 1962, p. 88–101.

[2] *Kurdts, E. B.* A review of methods used in corona measurement, on insulation systems. In: AIEE Trans, 1962, paper 62, p. 248.

[3] *Avramescu, A.* și *Popescu, Gh.* Problemele descărcărilor parțiale în transformatoare. În: Electrotehnica **14**, nr. 5, 1966, p. 149–155.

[4] *Kreuger, F. H.* Discharge detection in high voltage equipment. London, Temple Press, 1965.

[5] *Leuzinger, S.* și *Galland, S.* Mesureur d'intensité de decharges partielles type 472. In: R.G.E., vol. **75**, nr. 10, 1966, p. 1161–1177.

[6] *Mole, G.* Design and performance of a portable A. C., discharge detector. In: The Electrical Research Association, Technical Report, V/T 115, 1956.

[7] *Tănăsescu, Fl.* Studiul descărcărilor corona la echipamentele de înaltă tensiune. In: Lucrările I.C.P.E. **5**, nr. 16, 1966, p. 65–80.

[8] *Tănăsescu, Fl.* Studiul descărcărilor parțiale în alveolele unui dielectric. În: Electrotehnica **16**, nr. 4, aprilie 1968, p. 136–146.

[9] *Tănăsescu, Fl.* și *Rădulescu, I.* Descărcări corona la sistemele de electrozi vîrf-placă, alimentate în curent continuu. În: Electrotehnica **15**, nr. 9, 1967, p. 278–286.

[10] * * * Techniques des essais à haute tension. CEI-42, Secr. 13, 1965.

[11] *Trichel, G. W.* The mechanism of the negativ point-to-plane corona near onset. In: Physical Review **54**, nr. 15, 1938, p. 1078–1084.

[12] *Trichel, G. W.* The mechanism of the positive point-to-plane corona in air at atmospheric pressure, In: Physical Review **55**, 15 febr 1939, p. 382–390.

[13] *Loeb, B. L.* The mechanism of the Trichel pulses of short time duration in air. In: Physical Review **86**, 1952, p. 252–257.

[14] *Konig, D.* Über die Vergleichbarkeit von Korona-Messungen an Spitze-Platte-Funkenstrecke in Luft bei Wechselspannung. In: Bull. ASE **57**, nr. 25, 1966, p. 115–1162.

[15] *Schwab, A.* Über die Anstiegszeiten von Korona-Entladungensimpulsen in einer Spitze-Platte-Funkenstrecken. Dissertation, Technischen Hochschule-Karlsruhe, 1963.

[16] *Nikuradse, A.* Über den elektrischen Durchschlag in flüssigen Isolatoren. In: Archiv für Elektr., vol. **25**, 1931, p. 826–833.

17] *Hippel, A.* Electric Breakdown of solid an liquid insulators. In: Journal of. Appl. Physic, vol. **8**, 1937 p. 815–832.

Intrat în redacție la 14.VIII.1968

Studiul cîmpului electric din plăci Hall avînd o formă oarecare, cu ajutorul unei modelări electrocinetice

Constantin Şora şi Silvia Dobre* — Timişoara

CZ 621.317.42.001.57 :538.632

Problema cîmpului electric din plăcile Hall este fundamentală în studiul dispozitivelor tehnice care folosesc efectul Hall. Cele mai răspîndite şi în acelaşi timp şi cele mai bine studiate, atît din punct de vedere teoretic, cît şi experimental, sînt plăcile Hall dreptunghiulare, cu electrozi de comandă plini. Principala metodă de rezolvare a problemei cîmpului la aceste plăci este metoda analitică a reprezentărilor conforme [1] — [6]. După cum se ştie însă pentru diferitele mărimi se obţin pe această cale expresii integrale complicate, care se rezolvă obişnuit prin metoda de aproximare; un progres însemnat, la găsirea soluţiei exacte în cazul plăcilor dreptunghiulare, a fost obţinut prin folosirea seriilor hipergeometrice la evaluarea integralelor mai sus menţionate [4]. În dorinţa unei rezolvări mai simple a problemei cîmpului s-au dezvoltat şi alte metode cum sînt cele bazate pe scrierea ecuaţiei lui Laplace sub forma cu diferenţe finite, sau rezolvarea analitică clasică a ecuaţiei lui Laplace în condiţii pe frontieră simplificate. În acelaşi sens se menţionează metoda bazată pe folosirea unei modelări electrocinetice. Ultima metodă, care este relativ simplă a lărgit gama de probleme ce pot fi rezolvate în legătură cu cîmpul din plăcile dreptunghiulare Hall [8] — [12].

Rezolvarea problemei cîmpului electric dintr-o placă Hall de o formă oarecare este desigur mult mai complicată decît la o placă dreptunghiulară. Aplicarea în acest caz a metodei reprezentărilor conforme este practic imposibilă. De altfel nici celelalte metode nu sînt menţionate în acest sens. Un interes deosebit în legătură cu rezolvarea acestei probleme îl poate însă prezenta metoda bazată pe folosirea unei modelări electrocinetice.

Ne-am propus să aplicăm această metodă la studiul cîmpului electric dintr-o placă Hall avînd o formă oarecare, în principal, în legătură cu determinarea tensiunii Hall între două puncte oarecare de pe contur şi a factorului de creştere a rezistenţei electrice a plăcii datorită efectului magnetorezistiv geometric. Placa este prevăzută pe suprafeţele laterale cu doi electrozi de comandă, avînd o întindere arbitrară, iar electrozii Hall sînt presupuşi punctiformi. Pentru rezolvarea problemei se presupun cunoscuţi coeficientul Hall C_H şi rezistivitatea electrică ρ a materialului din care este confecţionată placa. Abordarea problemei sub această formă cu ajutorul modelării electrocinetice nu ştim să fie tratată pînă în prezent. În literatura de specialitate se menţionează un caz de aplicare a modelării electrocinetice la o placă semiconductoare avînd o formă oarecare, pentru determinarea parametrilor C_H şi ρ ai materialului [7].

* Dr. ing. *C. Şora* este profesor la Institutul politehnic din Timişoara, iar ing. *S. Dobre*, asistent la acelaşi institut.

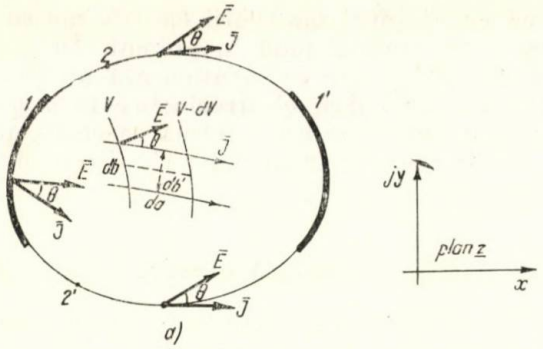
Descrierea metodei

a. După cum s-a menţionat într-o lucrare anterioară [12], metoda modelării electrocinetice se referă de fapt la metoda reprezentării conforme.

După cum se ştie, pe baza reprezentării conforme, cîmpul electric dintr-un domeniu limitat de un contur, cu anumite condiţii pe frontieră, se poate studia pe un domeniu echivalent mai simplu, ceea ce desigur constituie un avantaj important al metodei. Domeniile, iniţial şi echivalent, se reprezintă în două planuri complexe. Reprezentarea conformă a unui plan în alt plan, se realizează prin funcţii analitice. În general se obţin expresii matematice complicate, aşa cum a fost cazul şi la plăcile Hall dreptunghiulare. Dacă conturul domeniului este oarecare, funcţiile analitice cu ajutorul cărora se realizează reprezentarea conformă nici nu se pot stabili şi deci metoda analitică a reprezentărilor conforme nu se poate aplica.

Există totuşi posibilitatea de a aplica principiile reprezentării conforme, evitîndu-se dificultăţile de calcul menţionate, prin aceea că nu se operează direct cu funcţiile analitice care realizează reprezentarea conformă. Reprezentarea conformă se obţine în acest caz pe cale experimentală, folosind o modelare electrocinetică. Necunoaşterea funcţiilor analitice de reprezentare conformă este compensată prin determinarea pe cale experimentală a unor familii de curbe în domeniile considerate, care corespund acestor funcţii. Această posibilitate de aplicare a metodei reprezentărilor conforme prezintă un interes deosebit la plăcile Hall, deoarece determinările experimentale în vederea trasării familiilor de curbe ajutătoare menţionate se pot face într-un regim electrocinetic, deci în lipsa cîmpului magnetic, pe modele corespunzătoare realizate, de exemplu, din hîrtie electroconductoare. Dacă aceste familii de curbe sînt cunoscute se poate trasa printr-un procedeu grafic simplu spectrul electric din placa Hall, respectiv să se rezolve unele probleme în legătură cu cîmpul din această placă.

b. În figura 1 *a* este reprezentată o placă semiconductoare Hall de grosime h constantă și avînd o forță oarecare. Pe fața laterală s-au considerat electrozii de comandă *1*, *1'* și două puncte *2*, *2'*, care ar corespunde unor electrozi Hall punctiformi. Placa Hall este considerată



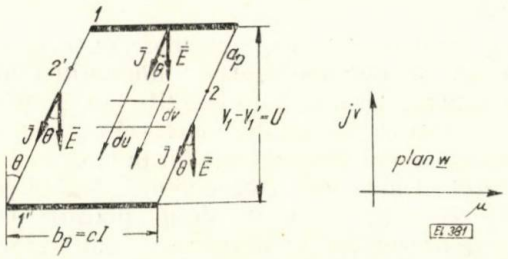


Fig. 1

în planul complex z, ca un domeniu limitat de frontiera constituită din două linii echipotențiale (corespunzătoare electrozilor *1* și *1'*, presupuși cu conductivitate electrică infinită) și două linii de cîmp (corespunzătoare fețelor libere — neacoperite de electrozii de comandă).

În prezența inducției magnetice, $\boldsymbol{B}$, perpendiculară pe suprafața plăcii (efect Hall transversal), vectorii intensitate de cîmp electric $\boldsymbol{E}$ și densitatea de curent $\boldsymbol{J}$, din fiecare punct al plăcii formează între ei unghiul Hall, θ. Legea conducției electrice în prezența cîmpului magnetic, valabilă pentru cîmpuri magnetice relativ mici este :

$$\frac{\boldsymbol{J}}{\sigma} = \boldsymbol{E} + C_H \cdot \boldsymbol{J} \times \boldsymbol{B}, \qquad (1)$$

unde $\rho = \frac{1}{\sigma}$ este rezistivitatea electrică la inducția magnetică considerată. Din relația (1), pentru unghiul Hall, θ, se obține expresia :

$$\operatorname{tg} \theta = C_H \cdot \sigma \cdot B = \mu_H B, \qquad (2)$$

în care μ_H este mobilitatea Hall.

Pentru vectorii $\boldsymbol{E}$ și $\boldsymbol{J}$ rezultă condițiile de limită cunoscute. Vectorul $\boldsymbol{E}$ este perpendicular pe suprafețele electrozilor de comandă, care sînt suprafețe echipotențiale și formează unghiul θ cu fețele libere ale plăcii, iar vectorul $\boldsymbol{J}$ formează unghiul θ cu normala la suprafața electrozilor de comandă, fiind tangent la fețele libere.

După cum se știe, orice domeniu simplu conex din planul z avînd o formă oarecare și prevăzut cu doi electrozi de comandă de întindere arbitrară, deci cu patru puncte pe frontieră se poate reprezenta conform într-un alt plan complex w, printr-un paralelogram, denumit paralelogram Hall [4]. În figura 1,*b* este arătat paralelogramul care corespunde plăcii Hall din figura 1 *a*. Paralelogramul este înclinat față de axa imaginară cu unghiul θ. Două laturi opuse ale paralelogramului corespund electrozilor de comandă *1*, *1'*, iar celelalte două laturi, fețelor libere ale plăcii. Vectorii $\boldsymbol{E}$ și $\boldsymbol{J}$ îndeplinesc aceleași condiții ca și în figura 1 *a*. Dacă în planul w se consideră $u = \text{const.}$, se obțin liniile de cîmp electric $\boldsymbol{E}$, iar pentru $v = \text{const}$, liniile echipotențiale. Liniile de curent sînt drepte înclinate cu unghiul θ față de axa imaginară. Se observă deci că spectrul electric al paralelogramului este simplu și cunoscut. Este evident faptul că dacă s-ar realiza o placă semiconductoare avînd conturul paralelogramului și ea ar fi străbătută de curentul de comandă și plasată într-un cîmp magnetic transversal de inducție magnetică corespunzătoare (pentru θ considerat) ar rezulta în realitate spectrul din figura 1 *b*.

La θ dat, paralelogramul este complet caracterizat prin cîtul dintre laturile sale, $\lambda_p = a_p/b_p$. În cazurile în care se pot stabili funcțiile analitice ce realizează reprezentarea conformă, acest cît se determină analitic. Principial, aceste funcții se pot scrie numai pentru contururi poligonale, introducînd un plan complex intermediar t, cu ajutorul teoremei lui Schwarz-Christoffel.

Paralelogramul simplu din figura 1 *b* se obține numai în cazul în care electrozii Hall sînt punctiformi. În caz contrar, conturul paralelogramului se complică.

c. Să relevăm unele rezultate de la reprezentarea conformă, necesare înțelegerii metodei propuse.

Se poate arăta, referindu-ne numai la caracteristicile unei reprezentări conforme, că rezistența electrică definită prin cîtul dintre tensiunea $U = V_1 - V_{1'}$, aplicată electrozilor de comandă *1*, *1'* și curentul total I care străbate placa, are aceeași valoare atît pentru domeniul inițial (fig. 1 *a*), cît și pentru paralelogramul Hall (fig. 1 *b*).

În adevăr, să considerăm în figura 1 *a*, un segment infinitezimal dintr-un tub de curent străbătut de curentul dI și cuprins între două linii de curent și două linii echipotențiale V și (V-dV). S-a notat cu da lungimea după direcția densității locale de curent, cu db lățimea după direcția liniei echipotențiale, respectiv cu db' lățimea după o direcție perpendiculară pe linia de curent.

Rezistența electrică a segmentului de tub de curent r, are expresia :

$$r = \frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}I} = \int \frac{\boldsymbol{E}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}}{\boldsymbol{J}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S}} = \rho\,\frac{\mathrm{d}a}{h\cdot\mathrm{d}b'}. \qquad (3)$$

Deoarece $\mathrm{d}b' = \mathrm{d}b\cdot\cos\theta$, relația (3) se scrie și sub forma :

$$r = \rho\,\frac{\mathrm{d}a}{h\cdot\mathrm{d}b\cdot\cos\theta}. \qquad (4)$$

Reprezentarea din figura 1 *a* și 1 *b* fiind conformă, înseamnă că în infinitul mic, figurile din cele două planuri sînt asemenea, adică laturile proporționale și unghiurile egale. În figura 1 *b* laturile conturului infinitezimal corespunzător sînt $\underline{\mathrm{d}u}$ și $\underline{\mathrm{d}v}$. Se poate deci scrie

$$\frac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}b} = \frac{\mathrm{d}v/\cos\theta}{\mathrm{d}u}. \qquad (5)$$

Ținînd seamă de relația (5), relație (4) devine :

$$\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}I} = \rho\cdot\frac{1}{h}\cdot\frac{\mathrm{d}v}{\cos^2\theta\cdot\mathrm{d}u}. \qquad (6)$$

Deoarece liniile $v = \text{const.}$, din planul w reprezintă liniile echipotențiale ($V = \text{const.}$), deci $\mathrm{d}v = \mathrm{d}V$, din relația (6) se obține :

$$\mathrm{d}u = c.\mathrm{d}\,I, \qquad (7)$$

în care, constanta c, este :

$$c = \rho\,\frac{1}{h}\cdot\frac{1}{\cos^2\theta}. \qquad (8)$$

Trecînd la dimensiuni finite și considerînd aplicată paralelogramului Hall aceeași diferență de potențial ca și plăcii Hall reale, rezultă că latura b_p a paralelogramului Hall este proporțională cu curentul total care străbate placa, $b_p = cI$, iar înălțimea proporțională cu diferența de potențial $U = V_1 - V_{1'}$ aplicată electrozilor de comandă. Cealaltă latură a paralelogramului a_p este proporțională cu $(V_1 - V_{1'})/\cos\theta$.

Pentru cîtul dintre laturile paralelogramului a rezultat deci expresia :

$$\lambda_p = \frac{a_p}{b_p} = \frac{\cos\theta}{\rho\,\frac{1}{h}}\cdot\frac{U}{I} = \frac{\cos\theta}{\rho\cdot\frac{1}{h}}\cdot R, \qquad (9)$$

unde $R = U/I$ este rezistența plăcii Hall.

Calculînd, pe de altă parte, rezistența electrică a paralelogramului Hall cu dimensiunile din figura 1 *b*, se obține expresia cunoscută :

$$R_p = \rho\,\frac{1}{h}\cdot\frac{1}{\cos\theta}\cdot\frac{a_p}{b_p}. \qquad (10)$$

Din comparația relațiilor (7) și (8) rezultă prin urmare că rezistența electrică R_p a paralelogramului Hall este egală cu rezistența electrică R a plăcii Hall.

Rezistențele electrice ale plăcii și paralelogramului Hall, la aceleași contururi care corespund reprezentării conforme, sînt egale între ele și pentru alte condiții de funcționare și chiar în lipsa inducției magnetice. Desigur că în diferitele cazuri condițiile limită pe frontieră ale vectorilor $\boldsymbol{E}$ și $\boldsymbol{J}$ fiind diferite, vor rezulta și rezistențe diferite, însă egale între ele.

Se poate menționa de asemenea că la un θ dat, poate rezulta același paralelogram Hall, pentru contururi inițiale diferite. Aceste din urmă vor fi echivalente între ele sub raportul rezistenței electrice.

În legătură cu aplicarea metodei se pun două probleme principale. Prima constă în determinarea, la un anumit θ, a paralelogramului Hall (λ_p), care corespunde unui contur inițial (placă Hall), fără ca acesta să fie realizat din material semiconductor și introdus într-un cîmp magnetic. Cea de-a doua problemă constă în trasarea în interiorul domeniului inițial și al paralelogramului Hall a unor familii de curbe corespondente, care să corespundă reprezentării conforme și cu ajutorul cărora să se poată trasa apoi spectrul electric din domeniul inițial.

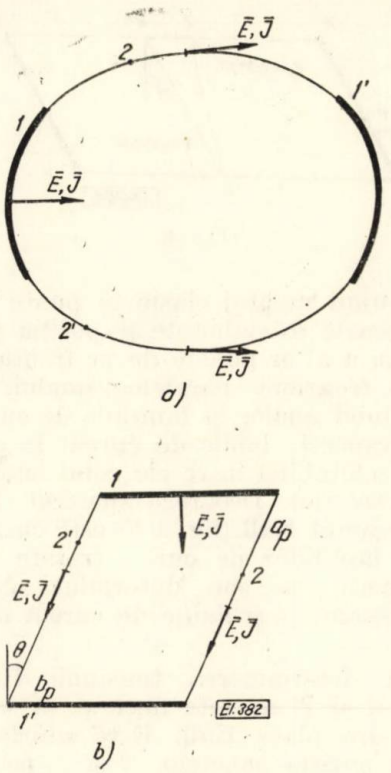


Fig. 2

Desigur că totodată trebuie găsită corespondența punctelor de pe frontierele celor două domenii.

În figurile 2 *a* și 2 *b* se consideră domeniile din figurile 1 *a* și 1 *b*, cu aceleași contururi,

însă cu alte condiţii de limită pentru vectorii $\boldsymbol{E}$ şi $\boldsymbol{J}$; vectorii $\boldsymbol{E}$ şi $\boldsymbol{J}$ sînt în acest caz omoparaleli.

Deoarece contururile din figura 2 sînt identice şi au aceeaşi structură în privinţa liniilor echipotenţiale şi a liniilor de curent, ele corespund aceleeaşi reprezentări conforme ca şi domeniile din figura 1. Desigur că datorită condiţiilor de limită diferite pentru vectorii E şi J, spectrul electric va fi diferit, de asemenea şi rezistenţa electrică.

Condiţiile de funcţionare din figura 2 se realizează într-un regim electrocinetic. Nefiind nici o restricţie cu privire la materialul din care se confecţionează domeniile din figura 2, acestea se realizează obişnuit din hîrtie electroconductoare.

Dimensiunile paralelogramului Hall pentru θ dat se determină în mod simplu pe modelul considerat (fig. 2) din condiţia de egalitate a rezistenţelor. Astfel prima problemă este rezolvată.

Alimentînd în regim electrocinetic placa Hall — model (fig. 2 *a*) şi paralelogramul Hall — model (fig. 2 *b*) se trasează apoi cîte o familie de linii echipotenţiale în cele două domenii, cu

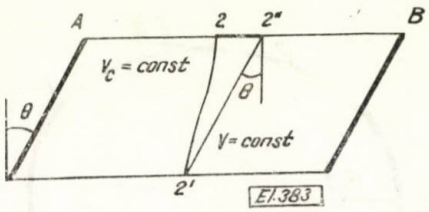


Fig. 3.

ajutorul unui montaj clasic în punte [12]. Cu această ocazie se stabileşte şi poziţia punctelor 2 şi 2' sau a altor puncte de pe frontiera plăcii Hall, pe frontiera paralelogramului. Se pot trasa în mod analog şi familiile de curbe ortogonale, respectiv liniile de curent în cele două domenii schimbînd între ele rolul feţelor libere şi al electrozilor. Deoarece spectrul electric în paralelogramul Hall (fig. 1 *b*) este cunoscut, cu ajutorul familiilor de curbe trasate în regim electrocinetic se pot determina atît liniile echipotenţiale cît şi liniile de curent din placa Hall.

Pentru determinarea tensiunii Hall între punctele 2 şi 2' nu este necesar să se traseze spectrul din placa Hall. Este suficient să se cunoască poziţia punctelor 2 şi 2' pe frontiera paralelogramului (fig. 3).

În figura 3 s-a considerat că punctele 2 şi 2' sînt pe aceeaşi suprafaţă echipotenţială (V_c = =const.) în lipsa cîmpului magnetic. În prezenţa cîmpului magnetic, liniile echipotenţiale (V = = const.) sînt paralele cu laturile paralelogramului corespunzătoare electrozilor de comandă 1, 1'. Tensiunea Hall raportată la tensiunea aplicată electrozilor de comandă va fi :

$$\frac{U_h}{U_{11}} = \frac{\overline{22'}}{\overline{AB}}. \tag{11}$$

În mod analog se calculează tensiunea Hall pentru orice poziţie a electrozilor Hall.

Factorul de creştere al rezistenţei electrice a plăcii Hall, care ţine seamă numai de efectul magnetorezistiv geometric $(K_r)_G$, are expresia :

$$(K_r)_G = \frac{R(B)}{R(0)} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_B}. \tag{12}$$

În cazul plăcilor Hall dreptunghiulare, cu electrozi de comandă plini (dispuşi pe întreaga latură a plăcii), s-a stabilit o relaţie de calcul simplă pentru acest factor [10].

$$(K_r)_G = \lambda_p \frac{1}{\lambda} \frac{1}{\cos\theta}, \tag{13}$$

în care $\lambda = a/b$ este cîtul dintre lungimea a şi lăţimea b a plăcii dreptunghiulare Hall.

Relaţia de calcul (13) se poate aplica şi pentru o placă Hall de o formă oarecare, dacă se determină, prin modelare electrocinetică dreptunghiul de rezistenţă electrică egală cu paralelogramul Hall.

Rezultatele experimentale

În scopul verificării rezultatelor obţinute în lucrare, s-au efectuat încercări experimentale.

S-a considerat o placă Hall din germaniu avînd forma din figura 7*a*. Electrozii Hall 2 şi 2' sînt punctiformi şi dispuşi astfel încît în lipsa cîmpului magnetic se găsesc pe aceeaşi suprafaţă echipotenţială (V_c = const.).

Parametrii materialului semiconductor din care s-a confecţionat placa Hall s-au determinat

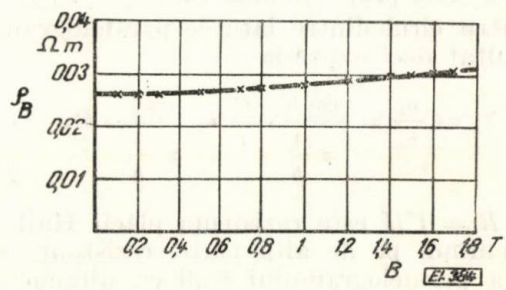


Fig. 4.

pe cale experimentală în laborator. În figura 4 este arătată variaţia rezistivităţii electrice cu inducţia magnetică, iar în figura 5, variaţia coeficientului Hall C_H.

În figura 6 s-a reprezentat, pe baza datelor din figurile 4 și 5 și a relației (2), variația tangentei unghiului Hall cu inducția magnetică.

Pentru modelare electrocinetică s-a folosit hîrtie electroconductoare cu $r^* = 370 \ldots 380$ Ω/m^2 (raportată la unitatea de suprafață).

În figura *7a*, s-a reprezentat placa-model, iar în figura *7b*, paralelogramul-model pentru $\theta = 20°$. Acestui unghi Hall îi corespunde $B = 0{,}99$ T. Raportul dintre laturile paralelogramului, dedus din egalitatea rezistențelor este, $\lambda_p = a_p/b_p = 2{,}815$. În cele două domenii s-au trasat în regim electrocinetic familiile de curbe corespunzînd liniilor echipotențiale (V_c = const.). Totodată s-a fixat pe frontiera paralelogramului poziția electrozilor Hall *2*, *2'*.

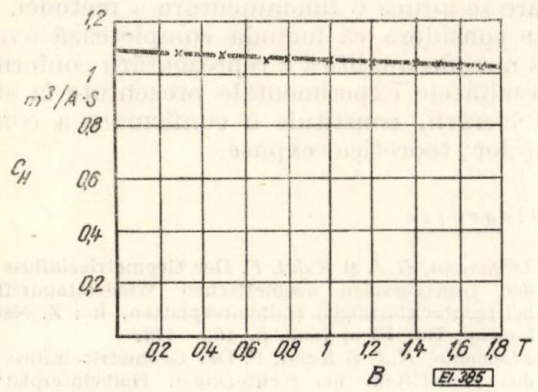


Fig. 5.

În paralelogramul Hall-model (fig. *7b*) s-au trasat de asemenea, cu linie punctată, liniile echipotențiale (V = const.) ce ar corespunde paralelogramului Hall, în prezența inducției magnetice.

Cu ajutorul familiilor de curbe trasate s-au determinat apoi pe cale grafică liniile echipotențiale (V = const.) în placă Hall. Acestea

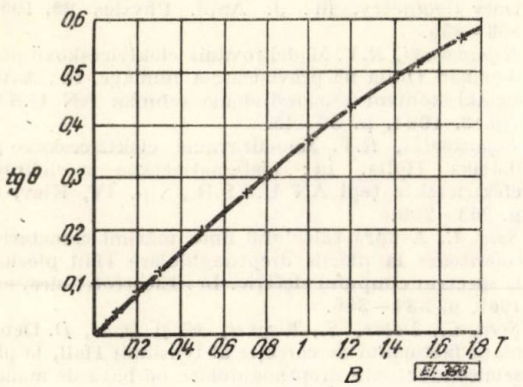


Fig. 6.

sînt redate în figura 8. În construcția grafică obținută se pot verifica condițiile pe frontieră. Nu s-au mai trasat liniile densității de curent în placă.

Pentru tensiunea Hall, dedusă din paralelogramul Hall (fig. *7b*), respectiv spectrul electric din placă (fig. 8), se obține valoarea $U_h/U_{11'} = 0{,}12$. Pentru factorul de creștere al rezistenței electrice a plăcii Hall datorită efectului magnetorezistiv geometric, a rezultat valoarea $(K_r)_G = 1.04$.

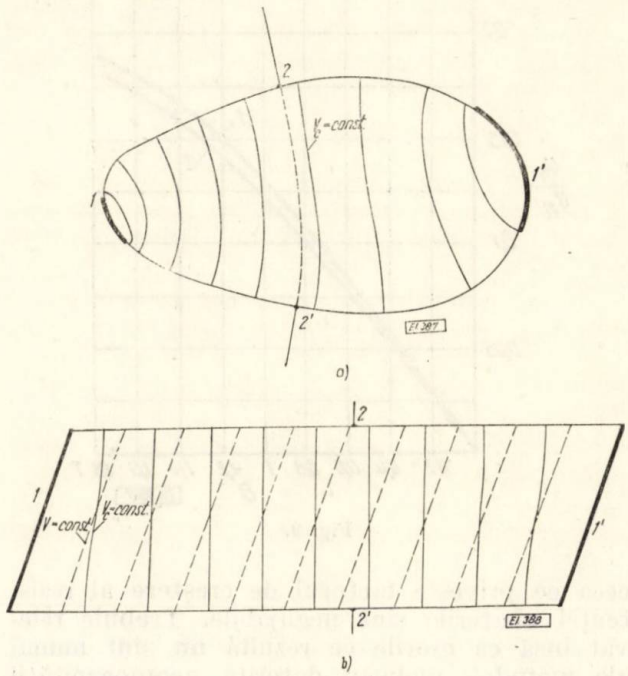


Fig. 7.

S-au mai făcut determinări pe bază de modelare și pentru $B = 1{,}4$ T, care corespunde la $\theta = 26°$.

Pentru verificarea rezultatelor obținute, pe bază de modelare electrocinetică, s-au făcut și determinări experimentale directe pe o placă Hall avînd forma considerată. În figura 9 este arătată variația tensiunii Hall în funcție de inducția magnetică, iar în figura 10, variația

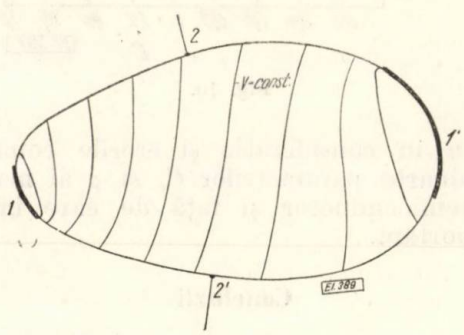


Fig. 8.

factorului de creștere al rezistenței electrice $(K_r)_G$ în funcție de inducția magnetică.

Curbele *1* din figurile 9 și 10 corespund valorilor experimentale, deduse prin măsurări di-

recte efectuate pe placa Hall, iar curbele *2*, valorilor experimentale obținute pe baza modelării electrocinetice. Se constată o concordanță satisfăcătoare între valorile determinate pe cele două căi. Referindu-ne la tensiunea Hall, rezultă o abatere medie de circa 5—6%. În

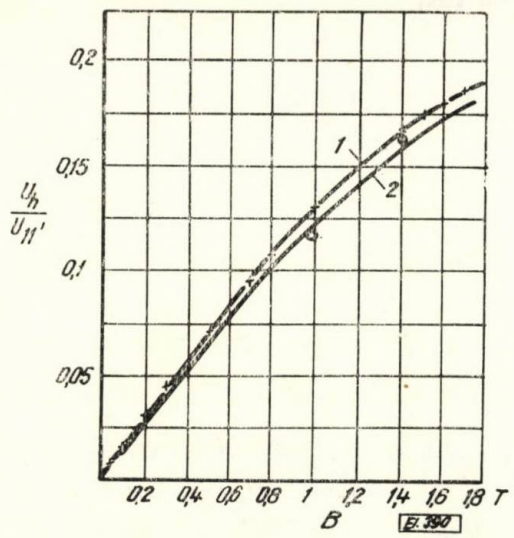


Fig. 9.

ceea ce privește factorul de creștere al rezistenței abaterile sînt neglijabile. Trebuie relevat însă că erorile ce rezultă nu sînt numai ale metodei, inclusiv datorită neomogenității hîrtiei electroconductoare; în cazul de față

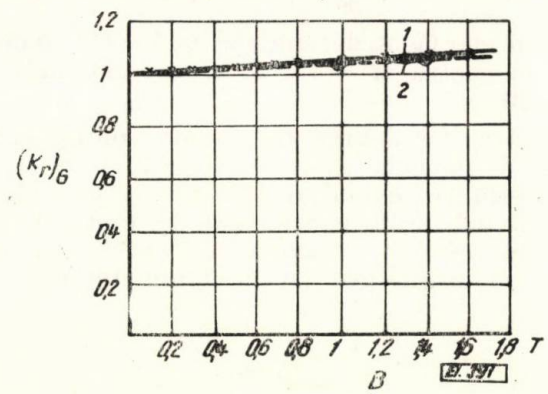


Fig. 10.

intervin în considerație și erorile comise la determinarea parametrilor C_H și ρ ai materialului semiconductor și față de care implicit ne raportăm.

Concluzii

În lucrare se analizează posibilitatea de a studia cîmpul electric din plăci Hall avînd o formă oarecare, cu ajutorul unei modelări electrocinetice. Se consideră plăci cu electrozi de comandă de întindere arbitrară și electrozi Hall punctiformi. În cazul considerat, aplicarea acestei metode apare ca cea mai rațională.

Dintre mărimile ce pot fi determinate, relativ simplu prin această metodă se pot menționa: tensiunea Hall pentru o poziție oarecare a electrozilor Hall, factorul de creștere al rezistenței electrice a plăcii Hall, și spectrul cîmpului electric din placă. Precizia metodei este corespunzătoare scopurilor tehnice. Ea depinde de omogenitatea hîrtiei electroconductoare, de desimea familiilor de curbe trasate în regim electrocinetic, precum și de unghiul θ; la valori mai mari ale lui θ precizia este mai mare.

Metoda analizată trebuie privită în strînsă legătură cu metoda reprezentării conforme, modelarea electrocinetică fiind o cale de realizare a acestei reprezentări. În acest sens, în lucrare se aduce o fundamentare a metodei. Se poate considera că metoda completează avantajos metoda analitică a reprezentării conforme.

Rezultatele experimentale prezentate la sfîrșitul lucrării, constituie o confirmare a considerațiilor teoretice expuse.

Bibliografie

[1] *Lippmann, H.J.* și *Kuhrt, F.* Der Geometrieeinfluss auf den transversalen magnetischen Wiederstandseffekt bei rechteckförmigen Halbleiterplatten. În: Z. Naturforschg, Bd. **13** a, 1958, p. 462—474.

[2] *Lippmann, H.J.* și *Kuhrt, F.* Der Geometrieeinfluss auf den Hall-Effekt bei rechteckigen Halbeinterplatten. În: Z. Naturforschg., Bd. **13** a, 1959, p. 474—483.

[3] *Haeusler, J.* Der Widerstand und das Feld eines rechteckigen Hall-Plättchens. În: Z. Naturforschg, Bd. **17** a, 1962, p. 506—513.

[4] *Haeusler, J.* Exakte Lösungen von Potentialproblemen beim Hall-effkt durch Konforme Abbildung. În: Solid-State Electronics, nr. 9, 1966, p. 417—440.

[5] *Wick, R.F.* Solution of the Field Problem of the Germanium Girator. În: J. Appl. Phys., Bd. **25**, 1954, nr. 6, p. 741—756.

[6] *De Sabata, I.* Cîmpul electric din transductoare Hall în regim cvasistaționar. Disertație, Institutul politehnic Timișoara, 1966

[7] *Broudy, R.M.* Galvanomagnetic Coefficients for Arbitrary Geometry. În: J. Appl. Physics **29**, 1958, p. 853—855.

[8] *Rojankovski, R.V.* Modelirovanie elektriceskovo polea v datcikah Holla na provodeaşcei bumage. În: Avtomaticeski kontrol i izmeritelnaia tehnika AN U.S.S.R., vîp. **8**, 1964, p. 36—45.

[9] *Rojankovski, R.V.* Modelirovanie elektriceskovo polea datcika Holla. În: Matematiceskoe modelirovanie elektriceskie țepi AN U.S.S.R., vîp. **IV**, Kiev, 1966, p. 253—269.

[10] *Șora, C.* Asupra calculului unor mărimi caracteristice, referitoare la plăcile dreptunghiulare Hall plecînd de la spectrul cîmpului electric. În: Electrotehnica, nr. 10, 1967, p. 384—386.

[11] *Șora, C., Dobre, S., Wagner, E.* și *Daba, D.* Determinarea factorului de corecție al tensiunii Hall, la plăcile semiconductoare dreptunghiulare pe bază de modelare. În: Bul. Inst. politehnic Timișoara, nr. 12, 1967, p. 553—561.

[12] *Șora, C.* Beitrag zur Untersuchung des elektrischen Feldes in einem rechteckigen Hallplättchen, mittels eines elektrokinetischen Modells (în curs de apariție în ETZ—A, 1968).

Intrat în redacție la 7.V.1968

RECENZII

CZ 621.313. 3. 012. 6

V. N. Nedelcu. **Regimuri de funcţionare ale maşinilor de curent alternativ**. Bucureşti, Editura tehnică, 1968, 360 pag., 140 fig.

Lucrarea recenzată conţine cinci capitole: Noţiuni de bază (pag. 1—64, 28 fig.); Ecuaţiile generale de funcţionare ale maşinilor electrice (pag. 65—142, 17 fig.); Exprimarea ecuaţiilor de funcţionare ale maşinilor electrice în unităţi relative (u.r.) (pag. 143—155, 33 fig.); Transformatorul (pag. 156—212, 16 fig.); Maşina asincronă (pag. 213—246); Maşina sincronă (pag. 247—252, 46 fig.).

La capitolul „bibliografie" se indică un număr de 158 surse bibliografice, repartizate pe capitole, precum şi bibliografia generală.

Vom prezenta în continuare conţinutul fiecărui capitol.

Capitolul I, primul paragraf, cuprinde Calculul simbolic. În acest paragraf se introduc în mod natural fazorii Fresnel ai mărimilor armonice mono şi trifazate arătîndu-se că, adoptarea unui anumit sens de rotaţie (trigonometric pozitiv — stînga; trigonometric negativ — dreapta) nu oferă nici un avantaj deosebit; sensul trigonometric pozitiv adoptat în electrotehnică constituie o problemă de convenţie. Trebuie remarcat însă faptul că în nici o lucrare de electrotehnică nu se clarifică aceste elemente. O menţiune deosebită merită faptul că autorul introduce în mod explicit în literatură legătura dintre sensul de rotaţie al fazorilor şi noţiunea de succesiune a fazelor în timp a unui sistem de mărimi armonice. Se explică asemenea noţiuni ca: sistem de fazori de rotaţie pozitivă şi succesiune a fazelor directă sau inversă; sistem de fazori de rotaţie negativă şi succesiune a fazelor directă sau inversă. Aceste noţiuni sînt de cea mai mare importanţă în tratarea problemelor regimurilor maşinilor electrice de curent alternativ, deoarece în cazul regimurilor complexe apar componentele de succesiune a fazelor directă sau inversă, care în mod forţat trebuie raportate la sistemul de coordonate solidar cu sistemul înfăşurărilor.

Introducînd fazorul generalizat al unui sistem de mărimi scalare, în lucrare se arată, că în cazul maşinilor electrice, acest fazor capătă o semnificaţie fizică, reprezentînd amplitudinea mărimii învîrtitoare, pe care o produce în întrefier sistemul respectiv. În acest caz în lucrare se explică o altă problemă fundamentală discutată în paginile revistelor.

În paragraful al doilea sînt examinate transformările de coordonate folosite în teoria maşinilor de curent alternativ.

O caracteristică importantă a teoriei moderne a maşinilor de curent alternativ constă în aplicarea a numeroase transformări de coordonate.

Lucrarea cîştigă mult în această problemă în raport cu alte lucrări similare, deoarece foloseşte atît reprezentarea geometrică, cît şi cea analitică-matricială, rezultînd relaţii univoce de legătură între variabilele diferitelor sisteme de coordonate.

În paragraful al treilea se abordează de asemenea o problemă de bază în teoria maşinilor electrice de curent alternativ; parametrii caracteristici ai circuitelor electrice cuplate magnetic.

Este dat sensul fizic al coeficienţilor de scăpări, totali sau parţiali, al coeficienţilor de cuplaj magnetic, totali sau parţiali, în cazul a două sau trei circuite electrice cuplate magnetic, precum şi legătura dintre reactanţele tranzitorii şi subtranzitorii şi aceşti coeficienţi. Considerăm că expunerea acestor probleme oferă posibilitatea înţelegerii fenomenelor complicate care se abordează ulterior.

Paragraful al patrulea este consacrat expunerii „teoriei unitare a puterii sistemelor nesimetrice şi nesinusoidale polifazate". Această teorie este elaborată de autor şi a fost publicată în 1963 în revista ETZ.

Autorul aduce o contribuţie deosebită în acest domeniu, introducînd noţiunea cea mai generală de putere: puterea aparentă complexă instantanee, care oferă posibilitatea de a corela toate noţiunile de putere, care au fost introduse pînă în prezent în electrotehnică, atît cele de natură scalară, cît şi cele complexe. Puterea reactivă instantanee, pe care de asemenea autorul o fundamentează în această lucrare apare ca partea imaginară a puterii complexe aparente instantanee.

Capitolul II. Primele două paragrafe ale capitolului II sînt consacrate definirii maşinii electrice idealizate şi demonstraţiei teoremei fluxului mutual. Paragraful al treilea este destinat expunerii ecuaţiilor generale de funcţionare (de tensiuni) în formă matricială şi vectorială prin introducerea fazorilor reprezentativi. Tot aici se introduc parametrii operaţionali ai transformatorului — reactanţele şi admitanţele operaţionale ale căror expresii se particularizează pentru cîteva valori importante ale parametrului p (Laplace); se demonstrează relaţia amperspirelor, metoda de mers în gol şi scurtcircuit de analiză a funcţionării transformatorului în sarcină, se defineşte raportul spirelor şi raportul de transformare al unui transformator, se rezolvă problema raportării mărimilor unui circuit la numărul de spire şi de faze ale celuilalt circuit.

Paragraful al patrulea este destinat expunerii ecuaţiilor generale de funcţionare ale maşinii asincrone. În acest scop printr-o metodă originală, bazată pe un evident suport fizic, autorul introduce fazorii spaţialo-temporali reprezentativi, folosind pentru stabilirea elementelor acestora (modulul şi faza) sistemele de coordonate α_s, β_s (pentru stator) şi α_r, β_r (pentru rotor). În stabilirea acestor ecuaţii autorul sesizează faptul că faţă de aceste sisteme de coordonate (care de altfel se folosesc în toată literatura) sistemul de două ecuaţii prezintă patru necunoscute, de unde apare necesitatea de a raporta toate mărimile atît cele ale rotorului, cît şi cele ale statorului la un singur sistem de coordonate — sistemul unic sincron — sau sistemul d,q.

Se stabilesc expresiile fluxurilor rezultante, prin aplicarea principiului suprapunerii efectelor, în care scop se folosesc proprietăţile maşinii idealizate.

De aceeaşi manieră riguroasă, este expusă forma matricială a ecuaţiilor de funcţionare ale maşinii asincrone, atît în sistemele naturale de coordonate, cît şi în sistemul unic; forma operaţională a ecuaţiilor de funcţionare ale maşinii asincrone, precum şi expresiile parametrilor operaţionali statorici şi rotorici ai maşinii.

Paragraful al cincilea este destinat stabilirii ecuaţiilor de funcţionare ale maşinii sincrone. Atenţia acordată în lucrare acestei probleme este pe deplin justificată pe de o parte datorită faptului că maşina sincronă este elementul de bază în sistemele energetice din punctul de vedere al proceselor tranzitorii, iar pe de altă parte, pentru că datorită neuniformităţii întrefierului, ridică cele mai complicate probleme teoretice.

În literatura de specialitate s-a discutat mult problema ecuaţiilor Blondel-Park-Gorev sub aspectul stabilirii semnelor diferitelor componente din ecuaţiile Park. Există un studiu (Veretenikov, Elektricestvo, 1962) în care se arată că numărul total al ecuaţiilor Park este de 128.

Autorul lucrării analizînd vectorial această problemă şi stabilind condiţia ca ecuaţia generală vectorială să verifice la limită ecuaţia unui regim de referinţă ajunge la concluzia că numai patru ecuaţii sînt valabile, dacă se respectă în mod consecvent toate ipotezele unanim adoptate. În această lumină scrierea şi aplicarea ecuaţiilor capătă o interpretare fizică accesibilă şi urmărirea acestora devine deosebit de simplă şi eficace.

Introducerea expresiilor parametrilor operaţionali ai maşinii sincrone constituie de asemenea un moment important în operaţia de pregătire a terenului pentru abordarea problemelor proceselor tranzitorii în maşina sincronă.

Paragraful al şaselea este consacrat stabilirii expresiilor generale ale puterilor activă şi reactivă. Şi aici autorul aduce elemente inedite arătînd că expresia puterii reactive, care se întîlneşte în toate tratatele clasice şi monografiile de specialitate, în regim nesimetric şi în funcţie de componentele longitudinale şi transversale nu reprezintă puterea reactivă.

Trebuie relevată atitudinea autorului de a acorda preponderență problemei scrierii ecuațiilor de funcționare ale mașinilor față de rezolvarea acestora. Avînd în vedere etapa actuală de dezvoltare a tehnicii de calcul, considerăm că această concepție este justă, deoarece mașinile pot să rezolve ecuațiile, dar nu pot scrie sau concepe aceste ecuații.

Capitolul al III-lea este destinat problemei exprimării ecuațiilor de funcționare ale mașinilor electrice în unități relative.

În capitolul al IV-lea sînt tratate problemele legate de funcționarea transformatorului în regim permanent simetric și nesimetric, precum și procesele tranzitorii în transformator la supratensiuni.

Regimul permanent beneficiază de o analiză completă și deosebit de clară.

Referitor la analiza regimului nesimetric, trebuie menționat că se sesizează o anumită inconsecvență în sensul că nu au fost folosite toate noțiunile introduse anterior (fazorul reprezentativ), ceea ce ar fi fost foarte interesant. Formulele date sînt generale, desigur ele pot fi particularizate, la regimurile de scurtcircuit. În acest sens poate ar fi trebuit analizate cîteva cazuri de scurtcircuite.

Paragrafele al 11-lea și al 12-lea din capitolul al IV-lea examinează procesele tranzitorii în transformatoare la supratensiuni și solicitările electrodinamice. Tratarea acestor paragrafe pare inegală în raport cu celelalte. Ar fi fost necesară o dezvoltare mai amplă a acestora, sau cel puțin a ultimului paragraf.

În capitolul al V-lea se examinează mașina asincronă : regimul permanent simetric electromagnetic și electromecanic ; regimul permanent nesimetric. Ecuațiile de funcționare pentru aceste regimuri se obțin prin particularizarea ecuațiilor generale stabilite anterior, rezultînd astfel avantajele structurii adoptate de autor.

O dezvoltare originală a diagramei cercului o constituie metoda geometrică expusă pentru predeterminarea abaterilor mărimilor nominale pe baza datelor de la încercările de mers în gol și scurtcircuit. Această metodă a constituit, de altfel, obiectul unui articol al autorului în revista ETZ din anul 1966. Rezolvarea regimului nesimetric se bazează pe ecuațiile unice vectoriale.

Folosind fazorii reprezentativi (la altă scară componentele simetrice ale valorilor scalare), se stabilesc ecuațiile corespunzătoare celor două sisteme de mărimi simetrice de succesiune a fazelor directă și inversă.

Se remarcă atît din punct de vedere matematic, cît și fizic, faptul că mărimile de succesiune a fazelor inversă, dau reacții învîrtitoare în întrefier, al căror sens de rotație este negativ, deoarece ele trebuie raportate la sistemul de coordonate a, b, c. Acest lucru este posibil de redat numai prin intermediul fazorilor reprezentativi.

În capitolul al VI-lea se impune a fi subliniat modul logic în care rezultă din ecuațiile generale (Park) ecuațiile regimului permanent simetric (Blondel), pe care de altfel se întemeiază toată teoria regimului permanent de funcționare al mașinii sincrone. Și în acest caz se subliniază semnificația fizică și matematică a mărimilor care intervin în diagramele fazoriale, precum și corelația dintre aceste mărimi și valorile scalare.

Merită a fi subliniată formula propusă pentru cuplul electromagnetic sincron (6,36) în ipoteza considerării rezistenței statorului, avînd în vedere faptul că toate lucrările existente stabilesc această formulă în ipoteza neglijării rezistenței statorului. Ca o consecință a acestui lucru poate fi dată explicația unui fenomen foarte interesant din funcționarea mașinii sincrone, și anume : fenomenul „amortizării negative".

Cu toate că pentru rezolvarea problemelor se folosește un aparat matematic modern (calculul operațional) toate transformările efectuate în formulele obținute sînt judicios interpretate din punct de vedere fizic în lumina legilor generale ale electromagnetismului. De altfel, la baza examinării acestor procese este așezat principiul inerției electromagnetice, care oferă înțelegerea celor mai complexe procese tranzitorii, care pot avea loc în mașinile electrice.

Prezintă un interes deosebit și analiza fenomenului intrării mașinii sincrone în sincronism la autosincronizare, deoarece, în general, această problemă face parte din categoria problemelor nerezolvate satisfăcător pînă în prezent.

Ca și în capitolul precedent tratarea regimului nesimetric se evidențiază printr-o metodă originală și eficace. Ar fi fost de dorit ca această metodă să fie aplicată și la analiza regimului nesimetric în cazul mașinii cu întrefier neuniform.

Avînd în vedere elementele noi folosite de autor, pînă în cele mai subtile aspecte matematice ale acestora, ca : fazorii Fresnel, fazorii generalizați (spațialo-temporali), ecuațiile unice vectoriale de tensiuni, trebuie de subliniat caracterul de profundă originalitate al lucrării, care o înscrie pe linia celor mai reușite lucrări în acest domeniu. Cartea reprezintă rezultatul prelucrării unui mare număr de articole și monografii apărute în literatura tehnică mondială și concretizează viziunea proprie a autorului asupra materialului expus în lumina numeroaselor sale articole originale publicate în revistele din țară și străinătate.

Este de așteptat, datorită expunerii riguroase și a teoriei moderne a mașinilor de curent alternativ, ca această lucrare să trezească un viu interes constructorilor de mașini electrice, specialiștilor electroenergeticieni, cît și în rîndul tuturor celor care vor să-și însușească acest domeniu al științei electrotehnice, atît de vast și de permanentă actualitate.

prof. dr. docent *V. Corlățeanu*

REFERATE

CZ 621.3 *Electrotehnică generală*

CZ 621.3.016.26 ;621.3.016.313

N e d e l c u, V. **Definiția puterii aparente a sistemelor trifazate nesimetrice** (Zur Begriffsbestimmung der Scheinleistung unsymmetrischer Drehstromsysteme). În : ETZ-A **89**, nr. 16, 1968, p. 385—388, 12 ref. bibl.

După trecerea în revistă a definițiilor privind puterea aparentă în sistemele trifazate nesimetrice — așa cum se prezintă în literatura tehnică de specialitate — autorul analizează această noțiune plecînd de la puterea aparentă complexă. Se demonstrează care este puterea aparentă medie complexă, valoarea absolută și cea maximă a acestei puteri. Toate mărimile sînt legate de valorile instantanee ale tensiunilor și curenților, de valorile instantanee, medii și maxime a puterii reactive și pulsatorii pe de o parte, iar pe de altă parte se scriu expresii care au în structura lor impedanțele circuitelor considerate.

Se analizează cazurile limită care pot apărea în sistemele trifazate ce comportă sarcini nesimetrice. Noul concept privind puterea aparentă complexă scoate în evidență neajunsurile relațiilor din literatură, clarificînd atît noțiunea de putere aparentă, cît și noțiunile de putere activă și reactivă a sistemelor trifazate nesimetrice.

A.C.

CZ 621.3.064.31 ;621.3.015.38

A n d r a, W. și S c h u l t z, W. **Defectul kilometric invers, rezultatele încercărilor pe rețele și modele** (Der umgekehrte Abstandskurzschluss-Ergebnisse von Netz — und Modellversuchen). În : ETZ-A **89**, nr. 16, 1968, p. 378—381, 6 fig., 2 tab., 9 ref. bibl.

Încercările cu un întreruptor așezat într-o rețea electrică de 220 kV au arătat că tensiunea de restabilire în cazul întreruperii unui scurtcircuit la borne se prezintă cvasisimilar, ca și în cazul unui defect kilometric.

Alimentarea barelor generale printr-o linie electrică servește autorului ca schemă pentru explicarea defectului kilometric invers. Se stabilesc prin calcul curbele de variație a tensiunii de restabilire și se dau oscilogramele defectului practicat în rețea. Se compară rezultatele obținute pe cale teoretică cu cele înregistrate, ca urmare a experiențelor

efectuate, atît în rețea, cît și pe modele de laborator. Se fac o serie de considerații de ordin teoretic și practic asupra rezultatelor obținute, arătîndu-se că nu există diferențe între mărimile calculate și cele măsurate.

A.C.

CZ 621.313. *Mașini electrice*

CZ 621.313.333.2.025.1-181.4.518.5

Kleinrath, H. **Calculul motoarelor asincrone monofazate prin folosirea calculatoarelor numerice** (Calcul des moteurs asynchrones monophasés par l'emploi de calculatrices numériques). În : ETZ-A **89**, nr. 15, 1968, p. 366—371, 10 fig., 4 ref. bibl.

După încadrarea problemei se arată că acțiunea reciprocă dintre pierderile în fier și curentul total din primar, se pune în evidență ținînd seamă de gradul de saturație al mașinilor. Calculul efectuat, cît și considerațiile teoretice se referă la motoare electrice monofazate de mică putere.

Se indică modul de cuprindere în calcul a pierderilor în fier, a diverselor mărimi ce caracterizează un anumit regim de funcționare a motoarelor electrice mici. Se construiește schema logică de calcul și se formulează algoritmul pentru folosirea mașinilor electronice cifrice la studiul motoarelor electrice de mică putere. Calculul numeric arată o deplină concordanță între mărimile precalculate și cele măsurate. Se indică o serie de reguli practice privind bobinarea motoarelor mici pentru a realiza un regim optim de funcționare.

A.C.

CZ 621.313.323

Smith, I. R., Snider, L. A. și Garrido, M. S. **Caracteristicile motorului sincron autoexcitat, cu reacție de curent** (Characteristics of a synchronous motor with current compounded self excitation). În : Proc. IEE, vol. **115**, nr. 6, 1968, p. 828—833, 10 fig., 11 ref. bibl.

Marele avînt în folosirea convertizoarelor cu semiconductoare a permis înlocuirea excitatoarei clasice cu elemente statice, ale căror mărimi de ieșire pot fi comandate în funcție de diverse regimuri ale mașinii sincrone.

Pentru motoarele sincrone de puteri relativ mici, de ordinul zecilor de kW, se consideră în general suficient o reacție de curent și una de tensiune. Aceste două reacții duc la o îmbunătățire substanțială în funcționarea mașinii, atît în regim staționar, cît și tranzitoriu.

Autorii prezintă predeterminarea caracteristicilor de funcționare ale unei mașini de acest tip, caracteristici care sînt suficient de apropiate cu cele obținute experimental, mașina funcționînd cu un factor de putere practic constant, iar comportarea sa dinamică fiind net îmbunătățită.

În concluzie metoda se recomandă a fi folosită în acționări utilizînd motoare sincrone cu sarcini fluctuante, atît datorită îmbunătățirii caracteristicilor de funcționare, cît și datorită simplității sistemului de excitație.

R.M.

CZ 621.313.333

Butler, O. I. și Wallace, A. K. **Teoria generalizată a motoarelor de inducție cu înfășurări statorice asimetrice. Aplicarea sa la analiza și predeterminarea performanțelor motoarelor asincrone cu poli ecranați** (Generalised theory of induction motors with asymetrical primary windings. And its application to the analysis performance prediction of shaded — pole motors). În : PROC. IEE, vol. **115**, nr. 5, 1968, p. 685—694, 12 fig., 37 ref. bibl.

Motoarele asincrone cu înfășurări statorice și simetrice reprezintă un caz particular al grupei motoarelor de inducție.

Tehnica curentă folosește motoare bifazate a căror condiții de simetrie nu sînt îndeplinite atît în ceea ce privește numărul de spire al înfășurărilor, a poziției lor pe periferia statorică, cît și a impedanțelor conectate în serie.

Metoda generală utilizată de autori este reducerea celor *n* înfășurări statorice la două înfășurări în cuadratură înseriate cu impedanțe echivalente externe, sistem la care se poate aplica relativ ușor metoda celor două învîrtitoare.

Această metodă folosită prima oară de Sheldon Chang este aplicată în cazul motorului asincron cu poli ecranați. În acest caz datorită înfășurărilor concentrate, armonicile spațiale au o pondere deosebit de ridicată și sînt necesare circuite echivalente pentru fiecare din armonici în parte.

Încercările experimentale au dat rezultate suficient de apropiate față de cele calculate, verificînd astfel metoda.

Articolul se încheie cu o foarte bogată bibliografie (37 de titluri), oferind celor interesați o privire de ansamblu asupra nesimetriilor motoarelor asincrone.

R.M.

CZ 621.313.333.2:017.71

Medinski, L. A. **Modelarea rotoarelor tip colivie pentru studiul încălzirii motoarelor asincrone** (Modelirovanie neistanovivșihsea nagrevov cletci rotora asincronogo dvigatelea). În : Elektricestvo, nr. 8, 1968, p. 46—49, 3 fig., 4 ref. bibl.

După prezentarea problemei se arată stadiul cercetării în domeniul modelării mașinilor electrice și se compară noul procedeu propus cu cele descrise în literatura de specialitate.

Se fac o serie de ipoteze privind considerarea în timpul funcționării a pierderilor de putere. Modelul prezentat ia în considerare circuitele electrice ale motorului prinse în schema analogică prin elemente pasive.

În structura modelului — elementele dinamice sînt reprezentate de mașini electrice.

Concluziile experimentărilor făcute se dau sub formă de diagrame. Se arată modul de construire a modelului folosit și se descrie modul de funcționare.

Aspectele fizice sînt prinse în modele matematice care apoi apar în modelul analogic conceput.

De remarcat că indicațiile privind structura modelului și rezultatele obținute prin punerea în funcțiune a schemei motorului studiat se pot folosi fără dificultăți în practica încercărilor de mașini electrice.

A.C.

CZ 621.311.153.2.621.1:621.313.333

Akhtar, M. Y. **Reprezentarea sarcinilor tip motor asincron în rețele cu frecvență variabilă** (Frequency — dependent dynamic reprezentation of induction motor loads). În : Proc. IEE, vol. **115**, nr. 6, iunie 1968, p. 802—812, 12 fig., 11 ref. bibl.

Motoarele asincrone reprezintă consumatorii cei mai importanți din rețelele de curent alternativ. Reprezentarea lor prin impedanțe fixe corespunzătoare frecvenței nominale a sistemului constituie o simplificare mult prea grosieră, iar rezultatele teoretice obținute sînt depărtate de cele experimentale.

Autorul prezintă o metodă care permite ca motoarele de inducție singure sau grupuri să fie considerate ca sarcini dinamice dependente de frecvență. Dacă sînt cunoscuți parametrii electrici și mecanici ai mașinii, circuitul echivalent, problema este relativ simplă, luîndu-se în considerare regimurile tranzitorii la variațiile de frecvență.

În cazul însă cînd sarcina este constituită din grupuri de motoare ale căror caracteristici nu sînt cunoscute decît sub formă generală pe baza datelor din cataloage, autorul indică o metodă aproximativă de reprezentare, metodă care dă rezultate mulțumitoare.

În încheiere se studiază problemele de stabilitate, considerîndu-se cazul practic al unei rețele în regim de avarie, rezultatele obținute coincizînd cu cele măsurate.

R.M.

CZ 621.314.2 *Transformatoare*

CZ 621.314.2:621.365:669

*** **Transformatoare speciale pentru electrometalurgie** (Transformateurs spéciaux pour l'électro-métallurgie). În : Revue Générale de l'Électricité, n. 5, 1969, p. 549—572, 31 fig.

Pe curpinsul a patru materiale de specialitate se dezvoltă o serie de probleme referitoare la : condițiile de funcționare a transformatoarelor și redresoarelor în metalurgie ; teoria și schemele principale de construcție a transformatoarelor

care alimentează redresoarele de putere; transformatoarele de putere pentru cuptoare electrice; particularităţile de construcţie şi exemple de realizări privind transformatoarele destinate alimentării redresoarelor.

Titlurile articolelor şi principalele idei cuprinse în materiale se dau în cele ce urmează:

1. *P. Hofer.* Transformatoare pentru redresoare din electrometalurgie (electroliză) şi metalurgie (laminoare, substaţii). Condiţii şi necesităţi în funcţionare (Transformateurs de redresseurs pour l'électrométalurgie (électrolyse) et la métallurgie (laminoirs, sous-station). Conditions et besoins des service), p. 549—552.

După o scurtă introducere consacrată posibilităţilor de folosire a transformatoarelor speciale în metalurgie se insistă asupra utilizării redresoarelor în electrometalurgie. Se studiază posibilitatea menţinerii sarcinii electrice la valoarea ei maximă şi variaţia curentului şi a tensiunii în cazul şocurilor de sarcină.

2. *G. Sacharoff.* Transformatoare de alimentare a redresoarelor. Teoria şi schemele de funcţionare. Principii constructive (Transformateurs d'alimentation de redresseurs. Théorie de fonctionnement et schémas. Principes des construction), p. 553—560.

Se arată cum influenţează condiţiile de exploatare funcţionarea normală a redresoarelor şi transformatoarelor ce le alimentează.

Se expune şi se comentează schemele utilizate pentru transformatoare şi redresoare în metalurgie, în general, şi în electroliză, în special. Se fac consideraţii asupra principiilor constructive a redresoarelor şi transformatoarelor şi se indică o serie de scheme experimentate în diverse condiţii de exploatare.

3. *G. Rogé.* Transformatoare pentru cuptoare (Transformateurs de four), p. 561—564.

Necesităţile practice privind obţinerea unor oţeluri speciale şi a feroaliajelor implică utilizarea cuptoarelor electrice şi respectiv a unor transformatoare de mare putere alimentate la tensiune înaltă.

Se arată condiţiile de exploatare a aparatajului electric necesar şi se prezintă o serie de soluţii care să corespundă exigenţelor impuse. Se indică atît caracteristicile tranformatoarelor, vederea lor, cît şi schemele utilizate.

4. *F. Sandoz.* Particularităţile de construcţie şi exemple de realizare a transformatoarelor pentru redresoare (Particularités de construction et exemples de realisations de transformateurs pour redresseurs), p. 565—572.

Se descriu soluţiile constructive şi se arată unităţile realizate. Se dau principalele caracteristici şi se arată condiţiile la care au făcut faţă în exploatare.

Puterile grupurilor de transformatoare speciale variază între 14 şi 2 500 MVA. Tensiunile de alimentare 6—17 kV. Se indică caracteristicile transformatoarelor pentru producerea aluminiului şi pentru alte produse metalurgice.

A.C.

CZ 621.317 *Tehnica măsurilor electrice*

CZ 621.317.087.9:621.398.087.9

Hitzig Karlsruhe, K. **Puncte de vedere asupra exploatării sistemului digital de măsurare** (Gesichtspunkte für die Anwendung der digital Messwertverarbeitung). În: ETZ-B **20**, nr. 17, 1967, 3 fig., 1 ref. bibl.

Printre instalaţiile pentru efectuarea măsurărilor, sistemul digital se răspîndeşte din ce în ce mai mult şi dă rezultate satisfăcătoare. Acest sistem permite înregistrarea rapidă şi cu mare precizie a unui număr mare de parametri supuşi măsurărilor. Din această cauză măsurarea prin procedee digitale a diferitelor mărimi se recomandă atît în cursul desfăşurării proceselor tehnologice, cît şi în cursul încercării maşinilor electrice la bancul de probă. Se arată că sistemul de măsurare numeric se substituie adesea sistemului analogic cînd numărul parametrilor este mare şi se cere o precizie şi o rapiditate deosebită în măsurarea şi înregistrarea datelor ce caracterizează un proces dat.

Date prezentate scot în evidenţă şi unele aspecte economice privind exploatarea sistemului digital de măsurare în raport cu alte sisteme.

Se descrie şi se arată atît schema de funcţionare a întregului aparataj din schema de măsurare, cît şi vederea de ansamblu a noului sistem.

A.C.

CZ 621.318 *Aplicaţii industriale ale magnetismului şi magneţilor*

CZ 621.318.42.017.32

Maizières, Ch. şi Fourquet, M. **Simularea unei bobine cu miez de fier prin reprezentarea matematică a ciclului histerezis** (Simulation d'une bobine à noyau de fer par représentation mathématique du cycle d'hystéresis). În: Revue Générale de l'Électricité, tom **77**, nr. 5, 1968, p. 476—481, 9 fig., 6 ref. bibl.

Se propune reprezentarea analitică a ciclului histerezis prin patru arce de hiperbolă pentru simularea unei bobine cu miez de fier. Astfel se studiază comportarea bobinelor cu miez de fier pe o scară convenabilă la care apare variaţia cuprului magnetic şi a inducţiei magnetice.

După prezentarea ecuaţiilor ce indică căderile de tensiune din circuitul bobinei cu miez de fier se reprezintă variaţia fluxului în funcţie de curentul ce traversează circuitul bobinei studiate.

Se arată modul în care se ţine seamă de saturaţie, scriindu-se relaţiile analitice ce caracterizează fenomenul. Modelele matematice concepute sînt programate pe un calculator electronic. Rezultatele obţinute arată că variaţiile tensiunii aplicate bobinei şi ale curentului ce traversează bobina sînt cele măsurate şi pe cale exprimentală.

În încheiere se insistă asupra avantajelor studiului efectuat.

A.C.

CZ 621.319 *Condensatoare*

CZ 621.319.4:621.315.614.6:

Renne, V. T. **Condensatoare de forţă cu dielectric combinat** (Silovie kondensatori s kombinirovannim dielektrikom). În: Elektricestvo **68**, nr. 5, 1968, p. 79—82, 4 fig., 9 ref. bibl.

În tendinţa continuă de îmbunătăţire a indicilor tehnico-economici ai condensatoarelor de forţă se studiază dielectricul cu posibilităţile de ridicare a valorilor gradienţilor de potenţial.

La dielectricul hîrtie-ulei mineral se lucra cu gradienţi între 12 şi 13 kV/mm, însă cu trecerea la materialele sintetice clorurate de impregnare s-a ajuns la 18—20 kV/mm. La folosirea acestor gradienţi de potenţial ridicaţi este necesară o tehnologie superioară şi în primul rînd deshidratarea şi impregnarea la un vid înaintat, respectiv $10^{-3}...10^{-4}$ mm col. Hg.

Aceste măsuri au dus la îmbunătăţirea substanţială a indicelui de volum specific. Mai departe, se preconizează folosirea dielectricului combinat hîrtie-folie sintetică impregnată cu materiale clorurate. Avantajele folosirii acestui dielectric combinat sînt următoarele: micşorarea pierderilor dielectrice pe kVAr (întrucît tg δ la folii sintetice este 5.10^{-4} faţă de 20.10^{-4} la hîrtia de condensator); posibilitatea măririi puterii reactive pe unitate şi mai ales ridicarea gradientului de potenţial.

Folii sintetice din polipropilen, cu grosimea 25 μ, încercate la frecvenţa 50 Hz au gradienţi de străpungere 180—190 kV/mm. Aceste folii în combinaţie cu hîrtia de condensator dau pierderi dielectrice (tg δ) $< 1.10^{-3}$.

Se consideră că, continuarea cercetărilor în acest domeniu, va aduce rezultate interesante.

A.B.

CZ 621.791 *Lipire, sudare, tăiere*

CZ 621.791.16

Stammer, R. **Sudura tolelor subţiri şi a foliilor cu ajutorul ultrasunetelor** (Das Ultraschallschweissen dünner Bleche und Folien). În: ETZ-B, nr. 5, martie 1968, p. 101—104, 7 fig., 1 graf.

Sudura prin ultrasunete a tolelor subţiri, a foliilor şi a sîrmei este comparabilă cu sudura prin presiune la rece şi cu sudura prin frecare. Sudura se produce prin apropierea

la distanţe de ordin atomic a suprafeţelor respective datorită forţelor de legătură „de Waal". La acest procedeu este limitată doar grosimea uneia din părţile de sudat, cealaltă parte putînd avea o grosime oarecare. Procedeul prezintă avantajul de a se putea suda între ele metale diferite, aluminiul jucînd un rol principal din acest punct de vedere. Rezistenţa sudurii se apropie de cea a materialului de bază. Această sudură este utilizabilă şi la materialele plastice, precum şi la diferite alte materiale.

Sînt descrise metodele acestei suduri la metale, atît în cazul sudurii prin puncte, cît şi a cusăturii continue. În ambele cazuri materialele de sudat sînt introduse între cei doi poli: *sonotroda* şi *nicovala*.

Este explicat apoi fenomenul acestei suduri prin faptul că — datorită presiunii produse — sînt eliminate impurităţile (straturi de oxid etc.), iar punctele rămase pure se lichefiază, făcînd legătura reciprocă. Spre a evita necesitatea unor presiuni prea mari, se introduce în zona sudurii o vibraţie mecanică de 40 μm între cele două materiale de sudat, eliminîndu-se prin această frecare reciprocă straturile de oxid şi de alte impurităţi şi realizîndu-se astfel în punctele curăţate distanţa atomară necesară sudurii.

Este discutată apoi grosimea materialelor de sudat, unul dintre ele putînd avea o grosime nelimitată, grosimea celuilalt fiind limitată de condiţia ca undele *sonotrodei* să ajungă cu o amplitudine suficient de mare la punctul sudurii. Un grafic prezintă varietatea de metale sudabile prin acest sistem, arătîndu-se că se poate suda de exemplu şi metale cu semiconductoare, cu sticlă etc.

În încheiere se arată economia de energie a maşinilor ultrasonice (2,5—10 kW la circa 20 kHz), precum şi multiplele utilizări, cum ar fi sudura pe alamă a unor conducte izolate cu PVC (fără îndepărtarea prealabilă a izolaţiei), combinarea părţilor componente ale unei caroserii de automobil etc.

Gh. C.

CZ 621.365.46:621.791

Beuscher, H., Herbrich, H. şi Teske, K. **Radiatoare Micar pentru lipit şi sudat** (Micar-Strahler zum Löten und Schweissen). În: ETZ-B, nr. 5, martie 1968, p. 113—114, 7 fig.

Pentru tratarea termică a metalelor, sticlei, ceramicii şi materialelor sintetice se recomandă lămpi incandescente halogene. Aici radiaţia emisă de firul incandescent de wolfram este concentrată asupra piesei. Se obţin astfel temperaturi de circa 1 600°C, randamente de aproape 50% şi densităţi de putere de 2.10^2 W/cm². Particularitatea acestui sistem este în special posibilitatea transportului de energie exclusiv prin radiere, adică fără nici o atingere a piesei prelucrate. Articolul prezintă exemple de sudură la metale şi piese de ceramică, de topire a sticlei într-un recipient transparent şi de contracţie a foilor din material plastic.

În principiu razele (cu lungimea de undă de 0,4—4 μm) unei lămpi halogene sînt emise de spirala de wolfram din focarul unei oglinzi elipsoidale spre această oglindă şi reflectate apoi spre al doilea focar.

Se construiesc reflectoare rotunde (concentrînd razele pe un punct) şi reflectoare longitudinale (reflectînd pe o linie dreaptă). Primele au puteri de 150 W-2 kW, iar cele longitudinale se construiesc pentru 1—5 kW. Randamentul de 50% se explică prin diferitele pierderi indicate în articol. Aparatele se racordează prin mijlocirea transformatoarelor la 15 V (cele mici) sau la 110, respectiv 220 V. Lămpile mici au o durată de serviciu de 50 ore, iar cele mari (5 kW) de 2 000 ore.

Ca exemple de utilizare se explică sudura tuburilor unui aparat de încălzit, sudura soclului de ceramică a unei lămpi electrice (cu ajutorul aparatului de 150 W), topirea unor corpuri de sticlă din interiorul altui corp de sticlă (aici focarul razelor infraroşii se găseşte în interiorul vasului de sticlă exterior, care deci nu se încălzeşte în mod apreciabil) şi prelucrarea izolaţiei exterioare din material plastic a unui condesator.

Gh. C.

CZ 621.791.75 *Sudare prin arc*

CZ 621.791.753.9

Schöbel, K. **Sudura cu arc prin impulsuri** (Impuls-Lichtbogenschweissen). În: ETZ-B, nr. 5, martie 1968, p. 105—109, 4 graf., 10 fig.

Sudura cu arc prin impulsuri este un procedeu de sudură cu gaz protector cu electrozi neacoperiţi, fuzibili, unde aportul de metal poate fi reglat cu precizie. Cu o frecvenţă de 50 Hz, fiecare impuls de curent de o intensitate suficientă pentru a declanşa scăpări de scîntei, desprinde o picătură, care este aruncată în baia de sudură. Acest procedeu de sudură cu trecerea controlată a picăturilor produc cusături sudate asemănătoare celor obţinute prin procedeul WIG. Sudura în poziţii frontale nu prezintă dificultăţi la acest procedeu care, de altfel, este preferat la metalele uşoare şi la oţelurilor inoxidabile cu grosimi între 2 şi 6 mm.

După o comparaţie (într-un grafic) a metodelor de sudură cu gaz protector din punctul de vedere al grosimilor de tablă sudabile, se dau amănunte, respectiv se enunţă avantajele sudurii cu arc prin impulsuri, arătîndu-se că frecvenţa cea mai convenabilă la acest sistem de sudură este 50 Hz. Urmează o schemă a acestei instalaţii, care cuprinde atît producerea tensiunii de impuls, cît şi a tensiunii de bază, care, pentru menţinerea arcului între impulsuri, produce *curentul de bază*.

Sînt indicate apoi gazele de protecţie utilizate la diferitele categorii de sudură. Astfel la sudura cu arc prin impulsuri serveşte amestecul de argon cu oxigen, în alte cazuri argonul pur etc.

Ultima parte a articolului arată exemple de utilizare a sudurii cu arc prin impulsuri, indicîndu-se aluminiul şi aliajele sale, cuprul, oţelurile cu şi fără aliaje şi încheindu-se cu concluzia că acest mod de sudură umple un gol în domeniul sistemelor de sudură existente.

Gh. C.

CZ 621.791.755

Hildebrandt, P. şi Schmitt, O. **Sudura cu plasmă** (Plasmaschweissen). În: ETZ-B, nr. 5, martie 1968, p. 110—112, 6 fig., 1 graf.

Avînd în vedere că prin plasmă se înţelege un gaz ionizat, adică bun conducător de electricitate şi că deci orice arc de sudură se găseşte într-o plasmă, procedeul tratat în acest articol se deosebeşte de celelalte prin faptul că gradul de ionizare este mai ridicat, adică la aceeaşi tensiune, curenţii — la aceeaşi secţiune a coloanei de descărcare — sînt mai mari. Efectul acestui sistem se obţine mai ales prin închiderea mănunchiului, care formează coloana de gaz, într-un tub de cupru răcit. Se reduc astfel pierderile de căldură spre exterior. Pe axul tubului se va forma maximum de temperatură şi de densitate a curentului.

În două fotografii sînt arătate arcurile în cazul argonului fără tub de cupru şi cu acest tub. Într-o schemă este reprezentat întregul dispozitiv de sudură după acest sistem, arătîndu-se în continuare cîteva avantaje, de exemplu menţinerea constantă a curentului datorită fixării electrodului de wolfram. Pentru ca coloana de gaz (în general monoatomic) protector să-şi menţină secţiunea redusă pe o lungime cît mai mare după ieşirea din tub, se obişnuieşte adaosul de circa 7% hidrogen.

În afară de stabilitatea pe toată lungimea lui a arcului în plasmă, sistemul mai prezintă avantajul că tensiunea în timpul sudurii se menţine aproape constantă, ceea ce se deduce dintr-un grafic comparativ. Într-o tabelă sînt prezentate analizele gazului pentru diferite materiale sudate. Se descrie pe scurt arzătorul cu plasmă pentru grosimi de tablă mai mari de 3 mm.

În încheiere sînt indicate domeniile, în care acest sistem de sudură prezintă avantaje: metale cu conductibilitate termică şi cu capacitatea termică redusă. În cazul metalelor sensibile faţă de gaze se înlocuieşte hidrogenul cu heliu în scopul concentrării arcului de sudură.

Gh. C.

CRONICĂ

Sesiunea ştiinţifică festivă la Institutul politehnic "Gh. Gheorghiu-Dej din Bucureşti"

În zilele de 1—3 noiembrie 1968 a avut loc la Institutul politehnic „Gh. Gheorghiu-Dej", sesiunea ştiinţifică de comunicări, organizată cu prilejul sărbătorii a 150 ani de la înfiinţarea primelor cursuri de inginerie în limba romană, în Bucureşti.

În cadrul şedinţei de deschidere, care s-a organizat în sala mare a palatului Republicii Socialiste România, au luat cuvîntul rectorul institutului prof. dr. ing. George Bărănescu care a evocat figura eminentului patriot Gh. Lazăr, iniţiatorul şi propovăduitorul noilor idei în privinţa înfiinţării şi dezvoltării cursurilor de inginerie în limba română. A luat apoi cuvîntul primul secretar al Comitetului de partid al Municipiului Bucureşti, tovarăşul Dumitru Popa, care a citit mesajul transmis corpului profesoral şi studenţilor de către tovarăşul Nicolae Ceauşescu, Secretar general al C. C. al P.C.R. În încheierea şedinţei festive au vorbit rectorii institutelor de învăţămînt din ţară.

Comunicările s-au desfăşurat pe XXXIII secţii de specialitate. În domeniul electrotehnicii, la diverse secţii, s-au prezentat următoarele lucrări:

1. *R. Răduleţ* şi *C. Nemoianu.* Puterea necesară sudării electrice a tablelor de oţel cu rezistenţă de trecere între ele.
2. *C. Bălă* şi *A. Ţugulea.* Efectul pelicular şi parametrii tranzitorii ai barelor conductoare înalte aşezate în crestăturile maşinilor electrice.
3. *A. Popa* şi *A. Carabulea.* Contribuţii la studiul optimizării electrificării şi dieselizării căilor ferate cu ajutorul maşinilor electronice de calculat.
4. *C. Nemoianu.* Analiza cantitativă a regimurilor peliculare ale cîmpului electromagnetic.
5. *C. Bălă* şi *A. Fetiţa.* Pierderile suplimentare şi factorul de majorare a rezistenţei înfăşurărilor parcurse de curent alternativ, realizat cu conductoare de înălţimi diferite.
6. *A. Carabulea.* Contribuţii la studiul influenţei liniilor electrice asupra circuitelor de telecomunicaţie cu ajutorul calculatoarelor cifrice.
7. *A. Fransua* şi *L. Constantinescu.* Contribuţii la studiul motorului universal cu colector.
8. *D. F. Lăzăroiu.* Contribuţii la teoria maşinilor electrice cu întrefier axial.
9. *I. S. Antoniu* şi *M. Leon.* Metoda de determinare a puterilor în regim electroenergetic deformant utilizînd dispozitive de calcul analogic.
10. *A. Timotin* şi *M. Marinescu.* Cîmpul magnetic de dispersie al unui circuit magnetic cu magnet permanent.
11. *A. Ţugulea* şi *I. Ciric.* Utilizarea funcţiilor Green pentru studiul cîmpului magnetic în transformatoarele electrice.
12. *E. Potolea.* Aplicarea teoriei grafurilor la studiul regimurilor nesimetrice ale sistemelor electroenergetice.
13. *E. Potolea.* Calculul stabilităţii statice în reţelele electroenergetice cu caracteristici neliniare.
14. *R. Răduleţ* şi *A. Ifrim.* Asupra factorului de pierderi instantaneu al conductoarelor masive străbătute de curent electric.
15. *A. Timotin.* Proprietăţi asimptotice ale repartiţiei cîmpului electromagnetic tranzitoriu al elementelor inductive.
16. *A. Ţugulea* şi *C. Flueraşu.* Introducerea conductivităţii superficiale complexe şi a permeabilităţii superficiale complexe în studiul curenţilor alternativi în conductoare cu pereţi subţiri.
17. *C. Şora.* Asupra cîmpului electric Hall şi variaţia tensiunii Hall de-a lungul plăcilor dreptunghiulare.
18. *M. Preda.* Rezolvarea grafurilor de fluenţă prin metoda secţionării.
19. *F. Manea.* Scheme electrice echivalente şi grafuri de transmisie în studiul reţelelor electrice cu parametri uniform repartizaţi.
20. *C. Bălă* şi *A. S. Diculescu.* Pierderile suplimentare în transformatorul de sudură „Electrotehnica".
21. *N. Ştefănescu* şi *I. Bahrin.* Calculul pierderilor suplimentare în înfăşurările transformatoarelor de putere.
22. *A. Timotin.* Contribuţii la studiul cîmpului magnetic axial în pachetele de tole de la extremităţile statorului şi a pierderilor suplimentare corespunzătoare.
23. *M. Sand.* Contribuţii la teoria amplistatelor.
24. *A. Popescu.* Studiul teoretic şi experimental al inductorului de nul catodic pentru echilibrarea punţilor de curent alternativ.
25. *G. Dragan, E. Gîrleşteanu* şi *T. Miclescu.* Analiza modului de determinare a tensiunii minime de descărcare de 50%.
26. *G. Dragan.* Contribuţii la determinarea descărcării corona în cazul a două conductoare sau în cazul unui conductor şi pămînt.
27. *G. Dragan* şi *N. Golovanov.* Asupra calculului capacităţii la un divizor rezistiv.
28. *D. Cristescu* şi *M. Budaşcă.* Cercetări pe model a deformării undelor de impuls sub acţiunea efectului corona.
29. *A. Ţugulea* şi *F. Tomescu.* Parametrii transitorii ai unei bobine lungi cu miez masiv-coajă cilindrică subţire.
30. *D. Fränkel.* Observaţii privind metodele de compensare a tensiunii de zero la traductoarele Hall.
31. *M. Sand.* Construcţia grafică a caracteristicii de mers în gol la maşinile electrice speciale cu cîmp transversal.
32. *A. Millea.* Dispozitive bazate pe bobine cuplate total pentru măsurări de precizie în curent alternativ.
33. *C. Apetrei* şi *I. Bestea.* Dezexcitarea maşinilor sincrone cu sistem de excitaţie static.
34. *M. Sand* şi *C. Bălă.* Scheme structurale de calcul ale maşinilor electrice.
35. *D. Niculescu* şi *A. Crăciunescu.* Folosirea grafurilor în prezentarea unitară a teoriei maşinilor electrice.
36. *A. Millea.* Măsurări de mare precizie ale permitivităţii şi unghiului de pierderi la probe solide.
37. *V. Panaite* şi *D. Pavelescu.* Consideraţii asupra încălzirii conductoarelor electrice.
38. *D. Niculescu, C. Bălă* şi *A. Crăciunescu.* Ecuaţiile generale de funcţionare şi transmisia puterii în convertizoare electromecanice.
39. *A. Cupşa.* Calculul cîmpului magnetic din întrefierul aparatelor magnetoelectrice cu magnet interior.
40. *G. Cosmin.* Contribuţii la problema determinării inducţiei optime la electromagneţii de curent alternativ monofazat.
41. *V. Iordăchescu.* Cîmpul electromagnetic din ghidurile de unde de secţiune circulară străbătute axial de particule încărcate.
42. *A. Cupşa* şi *C. Boghiu.* Calculul unor circuite magnetice cu magneţi permanenţi şi dispersie repartizată.
43. *L. Constantinescu.* Modelarea matematică şi analogică a amplidinei.
44. *M. Antoniu.* Voltmetru electrostatic cu trei cupluri.
45. *C. Ionescu.* Cîmpul electromagnetic cvasistaţionar al conductoarelor rectilinii trifazate situate într-un ecran electromagnetic dreptunghiular, subţire, de conductivitate finită, fără pereţi despărţitori.
46. *I. Ciric.* Ecuaţiile integrale ale cîmpului magnetic staţionar sau cvasistaţionar.
47. *C. Flueraşu.* O metodă de aproximare pentru determinarea cîmpului electromagnetic cvasistaţionar al conductoarelor cu pereţi subţiri.

48. *M. Vasiliu.* Parametrii tranzitorii ai unei bobine lungi cu miez masiv conductor, magnetizabil şi polarizabil, de secţiune dreptunghiulară.
49. *C. Fluerașu.* Regimul tranzitoriu al cîmpului electromagnetic şi parametrii tranzitorii ai unei bobine cu miez tubular conductor, cu aplicaţii la prelucrarea prin deformare electromagnetică.
50. *F. Spinei.* Contribuţii privind studiul cîmpului electrocinetic în medii neliniare.
51. *I. Ciric.* Levitaţia electromagnetică a conductoarelor masive sferoidale.
52. *P. Cristea.* Contribuţii la analiza operatorială a circuitelor electrice
53. *F. Stănciulescu.* Ecuaţiile cîmpului electromagnetic în medii neliniare şi probleme la limită privind oscilaţiile electromagnetice.
54. *L. Bompa.* Studiul influenţei parametrilor electromagnetici asupra cîmpului din cuplul asincron, folosind maşini cifrice.
55. *A. Kelemen* şi *M. Crivii.* Comanda motorului asincron funcţionînd în regim de motor pas cu pas.
56. *A. Crăciunescu, M. Sand* şi *Gh. Nițu.* Criterii de similitudine pentru modelizarea fizică a releelor magnetice fără contacte.
57. *I. Barbu.* Consideraţii privind coeficienţii de transmisie a căldurii la siguranţele fuzibile de joasă tensiune.
58. *R. Măgureanu.* O metodă recuperativă de încercare a maşinilor sincrone.
59. *A. Negreanu.* Calculul regimurilor tranzitorii a motoarelor serie de curent continuu.
60. *A. Negreanu.* Metodă de calcul a regimurilor cvasistaţionare la alimentarea motoarelor serie de curent continuu cu tensiune crenelată.

În şedinţa de încheiere a lucrărilor sesiunii ştiinţifice prorectorul institutului a arătat că s-au prezentat peste 647 de comunicări realizate de colective de specialişti din învăţămînt, din institutele de cercetări departamentale sau cele ale Academiei Republicii Socialiste România şi de o serie de colaboratori din producţie. Lucrările discutate pe larg, în cadrul secţiilor de specialitate, tratează probleme actuale ale tehnicii noi în domeniul automaticii, electronicii, electrotehnicii maşinilor şi aparatelor electrice şi mecanice, motoarelor cu ardere internă, organizarea şi planificarea producţiei, transportului rutier şi pe calea ferată, rezistenţa materialelor, radiotehnicii, telefoniei, telegrafiei, metalurgiei, procedeelor şi aparatelor din industria chimică, utilizării calculatoarelor electronice etc.

Discuţiile purtate în cadrul secţiilor au arătat că lucrările prezentate se înscriu fie pe linia cercetării fundamentale, fie pe linia cercetării aplicative. Un aspect semnificativ îl prezintă faptul că o serie de lucrări au aplicaţii directe în producţie, fiind axate pe probleme curente ale practicii de ridicarea performanţelor utilajului din diverse sectoare de activitate.

Este de remarcat faptul că o parte apreciabilă a lucrărilor de specialitate nu se opresc numai la aspectele tehnice ale problemei, ci fac şi o serie de consideraţii economice, arătîndu-se eficienţa economică a procedeelor şi metodelor noi propuse.

Un aport la rezolvarea problemelor din planul de cercetare al institutului l-au adus colectivele formate din profesorii care au antrenat atît cadrele tinere de la catedrele respective cît şi specialişti cu experienţă din producţie.

Cu ocazia sărbătoririi celor 150 de ani de la înfiinţarea cursurilor de inginerie în limba română a fost organizată, în localul institutului, o expoziţie privind istoricul dezvoltării învăţămîntului şi contribuţia diferitelor personalităţi la progresul realizat în învăţămîntul superior.

Imaginile prezentate în cadrul expoziţiei au ilustrat saltul deosebit făcut de învăţămîntul superior din ţara noastră în anii regimului democrat.

Dr. ing. *A. Carabulea*

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. şt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. şt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. şt. tehn. V. CORLĂŢEANU; ing. ŞT. GROSU; prof. dr. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; conf. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTIANA POPESCU; ing. VL. POPOVICI; acad. prof. dr. doc. şt. tehn. ing. R. RĂDULEŢ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista "ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare şi publicaţii tehnice al M.I.C.M., cu sediul în Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, Sectorul 1. Telefon: redactor şef: 14.90.27; secretar general de redacţie: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare comenzi-difuzare, telefon: 16.21.70 interior 173. Instituţiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 026002 Banca Naţională a Republicii Socialiste România — Filiala Sectorul 1, Bucureşti. Tarif pentru instituţii şi întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică "Informaţia", Bucureşti, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 6088

Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 10/10275/1968

41 400

Recomandări pentru autori

1. Lucrările care pot fi prezentate spre publicare sînt: de importanță generală, tehnico, științifice, teoretice și experimentale și tehnice obișnuite.

2. Lucrările vor fi axate pe aducerea la îndeplinire a sarcinilor trasate de documentele de partid și de stat privind îndeosebi introducerea tehnicii noi, ridicarea calității produselor, reducerea prețului de cost, creșterea productivității muncii etc. Legătura cu practica muncii de cercetare, proiectare, învățămînt, producție este condiția esențială pe care trebuie să o îndeplinească tema tratată. Lucrările de sinteză sau de discuție să se refere la probleme noi și actuale, de interes general. Articolele interesînd industria vor cuprinde considerații privind eficiența economică a soluțiilor. Se recomandă ca articolele să conțină propuneri de viitor.

3. Verificarea experimentală se impune ca o necesitate de prim ordin la lucrările care se pretează la asemenea verificări.

4. Lucrările care au mai fost publicate integral sau parțial nu pot fi trimise redacției spre publicare.

5. Un scurt rezumat fixînd premisele de la care s-a pornit problema studiată și cadrul în care este tratată, nedepășind 4—5 rînduri, va fi anexat lucrării.

6. În introducere se încadrează problema în preocupările generale ale disciplinei și în preocupările producției; de asemenea se arată scopul lucrării, subliniindu-se contribuția autorului. Tratarea va trebui să fie unitară, permițînd înțelegerea fără dificultăți a problemelor. Se vor evita introduceri sau demonstrații voluminoase; de asemenea, se va evita repetarea în text a ceea ce poate fi găsit în literatura publicată sau poate fi redat intuitiv prin materialul grafic — ilustrativ, tabele etc.

7. Concluziile vor concentra rezultatele obținute cu indicarea limitei de valabilitate și aplicațiile posibile.

8. Citarea literaturii de specialitate este obligatorie pentru afirmațiile luate din alte lucrări și care nu sînt în general cunoscute.

9. Dezvoltările matematice vor fi limitate la cele absolut necesare înțelegerii raționamentului.

10. Se recomandă o atenție deosebită scrierii formulelor conform STAS. Indicii și exponenții se vor scrie mai mici decît baza și așezați mai jos sau mai sus decît baza. Se vor scrie, de asemenea, cu grijă literele majuscule, minuscule sau cele rusești, grecești, germane, cifrele romane etc.

11. Lista bibliografică se va întocmi cuprinzînd lucrările la care se referă textul (cum și figuri sau tabele), atît cele speciale, cît și cele generale. Se vor indica toate datele în transcrieri originale. Pentru cărți: numele complet, prenumele prescurtat, titlul complet (eventual și tradus, în paranteză), ediția, editorul, locul editurii, anul. Pentru articole: numele complet, prenumele prescurtat, titlul complet original (eventual și tradus, în paranteză), revista, volumul, numărul, luna și anul, paginile.

12. Scrisul la mașină al articolelor este recomandat cu insistență, exceptîndu-se lucrările scrise caligrafic.

Se scrie pe o singură pagină (față), la două rînduri (2 000 semne de pagină). Se recomandă 10—12 pagini dactilografiate.

12. Nu se admite trimiterea concomitentă a textului la alte publicații.

14. Articolele se trimit cu o notă însoțitoare pe adresa redacției. În notă se vor indica: titluri, funcții, localitatea și adresa domiciliului, număr de telefon.

15. Lucrările executate în cadrul diverselor instituții sau organizații vor purta aprobarea acestora pentru publicare.

16. Corecturile se vor face după normele tipografice în vigoare. Corecturile trimise autorilor vor fi înapoiate în maximum 48 de ore de la primire. Nu se admit modificări în corectură față de manuscris.

SOMMAIRE

CD 621.3.011 :538.551.23 :681.322

Stănciulescu, Fl. : **Problèmes concernant l'électrotehnique des circuits et des milieux non linéares et leur solution par des procédés de calcul digital.**

Electrotehnica **17**, no. 1, janvier 1969, p. 1—10

On formule les équations fondamentales des circuits électriques à éléments non linéaires et du champ électromagnetique dans des milieux non linéares. On élabore un modèle mathématique ainsi qu'un algorythme de calcul unitaire qui, ensemble, constituent un procédé de calcul digital. On présente des applications sur le calculateur digital ELLIOTT 803.

CD 621.313.32.016.34/35 :621.3.072.2

Zickman, M. : **Le reglage de l'angle du roteur, le domaine d'application et les conditions imposées aux installations d'excitation des générateurs synchrones.**

Electrotehnica **17**, no. 1, janvier 1969, p. 11—18

Dans cet article on présente la nécessité, les avantages et le mode de réalisation du reglage de l'angle du roteur des générateurs synchrones de grande puissance. Comme suite à l'article paru dans la revue „Electrotehnica" 16, no. 10, 1968, dans lequel on a présenté les systèmes d'excitation des générateurs synchrones, on spécifie les conditions imposées et le comportement de ces installations pendant l'exploitation.

CD 621.314.211/212.027.84 :621.317.333

Mathé, B. : **Le calcul de la sollicitation de l'isolation des transformateurs de haute tension et de grande puissance, ayant la borne d'entrée au milieu de l'enroulement.**

Electrotehnica **17**, no. 1, janvier 1969, p. 18—24

On présente le modèle mathématique de l'enroulement des transformateurs ayant la borne d'entrée au milieu et on étudie le phénomène transitoire d'impulsion (d'où résultent les sollicitations de l'isolation) par voie analytique et à l'aide de machines électroniques numériques. Les valeurs des gradients (la sollicitation de l'isolement longitudinal du transformateur) mais particuliérement les valeurs des potentiels (la sollicitation de l'isolation principale du transformateur) correspondent aux valeurs mesurées directement sur les modèles électromagnétiques (combinés), réalisés dans l'usine.

CD 621.315.615. + 618.016.51 :537.523.3

Tănăsescu, Fl. : **Oscillogrammes caractéristiques pour les décharges partielles qui se développent dans l'air et dans l'huile.**

Electrotehnica **17**, no. 1, janvier 1969, p. 24—30

L'air et l'huile, en tant que diélectriques, entrent dans la composition de nombreux équipements de haute tension. Etant donné que la sureté de fonctionnement de ces derniers est en dernière instance dépendante de l'isolant, le fait de dépister les décharges partielles dans cette étape qui précède le percement du diélectrique peut fournir au constructeur ou bien au personnel qui travaille pendant l'exploitation, des indications importantes concernant les sources des décharges ainsi que l'état de l'isolation.

Après avoir montré quelques éléments du schéma de mesurage utilisé, et des ses composants, on présente des oscillogrammes caractéristiques pour les décharges dans les deux sortes de milieux, l'air et l'huile, en indiquant les éléments spécifiques à chaque milieu. La différence entre les deux genres d'impulsions étant évidente, on peut établir des oscillogrammes caractéristiques pour la décharge dans l'air et dans l'huile, offrant la possibilité d'établir, d'après l'impulsion enregistrée par un oscillographe, dans lequel des deux milieux a lieu la décharge.

CD 621.317.42.001.57 :538.632.

Şora, C. et *Dobre Silvia* : **l'étude du champ électrique dans les plaques Hall ayant une forme quelconque à l'aide d'un modelage électro-cinétique.**

Electrotehnica **17**, no. 1, janvier 1969, p. 31—36

On analyse les possibilités d'étudier le champ électrique dans les plaques Hall ayant une certaine forme, en se servant d'un modelage électro-cinétique. Les résultats expérimentaux présentés à la fin de l'ouvrage confirment les considérations théoriques exposées.

COMPTES-RENDUS 37—38
RÉFÉRATS 38—41
CHRONIQUE 42—43

CZ 621.3 ELECTROTEHNICĂ GENERALĂ

CZ 621.3.07.012.6

Nitta, Kokiohi şi *Okitsu Hiroshi.* **Măsurarea şi examinarea caracteristicilor dinamice a motoarelor cu reglare electrică.** În : Electrotech. Z. (ETZ-A) **89,** nr. 12, 7 iun. 1968, p. 213 — —218, 7 fig., 2 tab., 4 ref. bibl.

CZ 621.31 :537.312.62.002

Massar, E. **Aspectele utilizării temperaturii joase în electrotehnică.** În : Electrotech. Z (ETZ-A) **89,** nr. 14, 5 iul. 1968, p. 335—339, 6 fig., 16 ref. bibl.

CZ 621. 313. MAŞINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU ŞI ALTERNATIV. GENERATOARE. MOTOARE

CZ 621.313.001.24 :681.31

Avetisian, D. A. ş.a. **Determinarea schemelor de calcul al maşinilor electrice la forma comodă pentru modelare.** În : Elektricestvo **89,** nr. 3, martie 1968, p. 23 — 27, 2 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.313.13 — 181.4.003 :338.063.41

* * * **Metode de reducere a preţului de cost la fabricarea motoarelor de mică putere.** În : Electr. Rev. **182,** nr. 11, martie 1968, p. 398—400, 4 fig.

CZ 621.313.2.002.2

Hanzelin, Frantisek. **Formarea seriilor şi unificarea la proiectarea maşinilor electrice de curent continuu.** În : Elektr. Obzor **57,** nr. 3, martie 1968, p. 137—141, 2 fig., 3 tab., 5 ref. bibl.

CZ 621.313.333.2.023.1 — 181.4 :518.5

Kleinrath, H. **Proiectarea mai precisă a motoarelor asincrone monofazate prin utilizarea calculatoarelor numerice.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-A) **89,** nr. 15, 19 iul 1968, p. 366—371, 10 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.314 TRANSFORMAREA ENERGIEI ELECTRICE TRANSFORMATOARE. CONVERTIZOARE. REDRESOARE. COMUTATRICE

CZ 621.314.2.001.57 :621.335.2

Zincenko, S. A. **Modelarea matematică a proceselor prin impulsuri la bornele transformatorului locomotivei electrice.** În : VUZ Elektromehanika **11,** nr. 2, feb 1968, p. 157 — 164. 3 fig., 3 tab., 4 ref. bibl.

CZ 621.314.222.08

Alakaev, A. M. **Transformator de încercare de mică putere.** În : Energhetik **16,** nr. 3, martie 1968, p. 12—20, 1 fig.

CZ 621.315.211.2 :621.315.616.9

Oestreich, U. **Cabluri pentru curenţi tari, izolaţi în plastic.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20,** nr. 11, 31 mai 1968, p. 297—301, 7 fig., 8 ref. bibl.

CZ 621.315.211.9.027.3 :621.315.616.96.002.2

Geis, H. şi *Pairitsch, H.* **Condiţii pentru fabricarea cablurilor de înaltă tensiune izolate în polietilenă.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20,** nr. 11, 31 mai 1968, p. 297—301, 7 fig., 8 ref. bibl.

CZ 620.193 :620.197 :621.315.221.5

Glander, F. şi *Wanser, G.* **Coroziunea şi protecţia anticorosivă a cablurilor cu înveliş de plumb.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20,** nr. 11, 31 mai 1968, p. 307—312, 4 fig., 1 tab., 16 ref. bibl.

CZ 621.315.232.017.71

Sorms, R. **Capacitatea sarcinii termice a unui cablu pozat în nisip.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20,** nr. 11, 31 mai 1968, p. 315—319, 8 fig., 2 ref. bibl.

CZ 621.315.616.9.001.5

Mitrosicev, M. V. **Influenţa materialului de umplutură asupra proprietăţilor electrice ale maselor plastice epoxidice.** În : Elektrotehnika **39,** nr. 3, martie 1968, p. 18—21, 5 fig., 1 tab., 7 ref. bibl.

CZ 621.315.687 :621.315.616.96

Fiedler, C. şi *Wilhelm, K.* **Garnituri pentru cabluri în răşini epoxidice turnate.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20,** nr. 11, 31 mai 1968, p. 305—307, 3 fig., 1 tab., 6 ref. bibl.

CZ 621.317 TEHNICA MĂSURĂRILOR ELECTRICE. APARATE DE MĂSURĂ

CZ 621.317.333.6

Bondarenko, I. S. ş.a. **Despre măsurarea rezistivităţii superficiale a dielectricilor.** În : Elektricestvo **89,** nr. 3, martie 1968, p. 59—60, 3 fig., 1 tab., 2 ref. bibl.

CZ 621.317.39 :532.217

Schauter, E. **Aparate electrice pentru indicarea scurgerii destinate controlului rezervoarelor de lichide.** În : Elektrotechnik 50, nr. 5, mai 1968, p. 56—58, 5 fig.

CZ 621.318 APLICAŢII INDUSTRIALE ALE MAGNETISMULUI ŞI MAGNEŢILOR. ELECTROMAGNEŢI. RELEE

CZ 621.318.3 :537.312.62.002.2

Bogner, G. **Stadiul atins în construcţia magneţilor mari supraconductori.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-A) **89,** nr. 14, 5 iul 1968, p. 321—324, 5 fig., 2 tab.

CZ 621.318.56

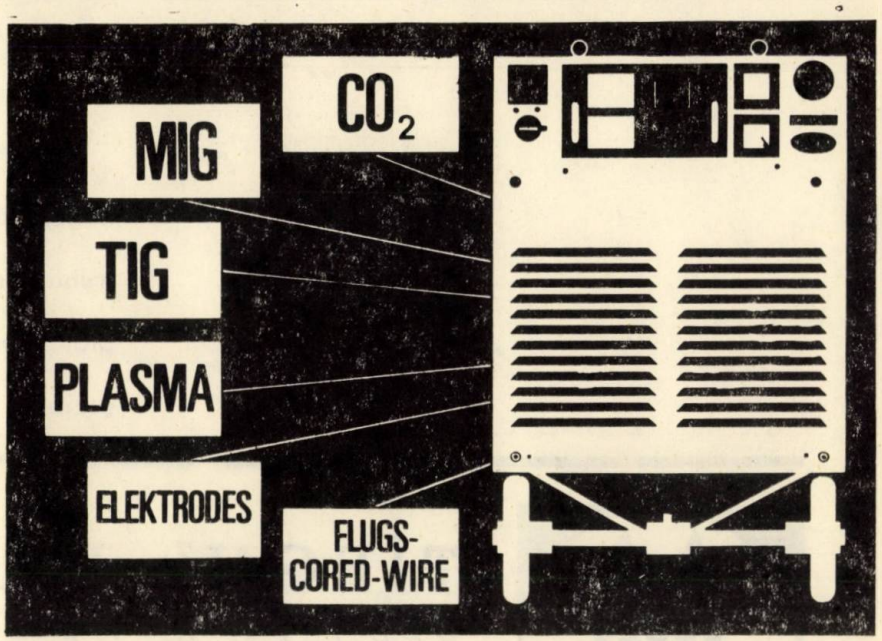
Rühlemann, E. **Relee auxiliare şi contactoare auxiliare.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20,** nr. 12, 14 iunie 1968, p. 336—340, 6 fig., 1 tab., 8 ref. bibl.

CZ 621.318.134

Habercy, F. şi *Wiju, H.P.Y.* **Influenţa întrefierului asupra permeabilităţii complexe a feritelor.** În : Elektro-Anz. **21,** nr. 5, martie 1968, p. 78-79, 5 fig., 2 ref. bibl.

omeniu de aplicare universal

onvertizoarele de sudare Kjellberg KW 100 VC şi
W 700 VC, precum şi redresorul de sudare Kjellberg
G 400 VC îndeplinesc această cerinţă pe care o impune
hnologia modernă de sudare, sursei de curent în multe
ocese. Aparatele pot realiza pentru caracteristica sta-
ă tensiune—curent curbe cu o pantă abruptă pînă la
a orizontală şi deci se pot întrebuinţa atît pentru
ctrozi destinaţi sudurii manuale, cît şi pentru pro-
dee de mare productivitate (CO_2, MIG, WIG, UP).
rentul maxim de sudură este pentru KW 400 VC
KG 400 VC, 400 A, iar pentru KW 700 VC, 700 A.
celentele calităţi de aprindere şi sudură constituie
e avantaje ale aparatelor.
reţi informaţii asupra convertizoarelor şi redresoa-
lor Kjellberg.
aşteptăm la Tîrgul de la Leipzig din primăvara
69, în sectorul tehnic al Tîrgului, halele 18, 15 şi 11.



Kjellberg

ELEKTRODEN & MASCHINEN GmbH IN VERWALTUNG
D.D.R. — 798 FINSTERWALDE
Deutsche Demokratische Republik

Cei interesaţi se pot adresa la :

Biroul Tehnic-Comercial D. I. A. Elektrotechnik, Secţia comercială de pe lîngă Ambasada R. D. G. în Republica Socialistă România, Calea Dorobanţilor 14, Bucureşti

portator :
Elektrotechnik
XPORT-IMPORT
LKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER
EUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
OR 104 BERLIN CHAUSSEESTRASSE 111/112
PUBLICA DEMOCRATĂ GERMANĂ

HOTĂRÎŢI ÎNCĂ ASTĂZI

PENTRU MÎINE

Hotărîri pe perioade îndelungate puteţi lua în prealabil cunoscînd tendinţele cele mai noi de dezvoltare a pieţelor, oferta şi relaţiile comerciale între ţările din est şi vest, modul de rezolvare a diferitelor probleme, cererea clienţilor.

Tîrgul de la Leipzig garantează în minimum de timp obţinerea unui număr maxim de informaţii preţioase, contacte importante şi tranzacţii avantajoase.

Specialiştii, din cele mai diferite branşe ale industriei de maşini şi industriei bunurilor de consum, găsesc aici rezolvarea problemelor lor actuale şi viitoare.

Tîrgul de la Leipzig este o manifestare internaţională modernă, dinamică şi atractivă, întrunind expozanţi din circa 65 de ţări pe o piaţă comercială vastă, pe teritoriul unui stat socialist cu o industrie puternică.

TÎRGUL DE LA LEIPZIG

REPUBLICA DEMOCRATA GERMANA

2 — 11 martie 1969

31 august — 7 septembrie 1969

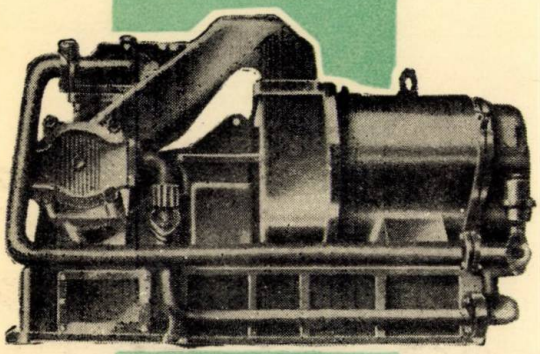
Pentru informaţii privind vizitarea tîrgului de la Leipzig vă puteţi adresa Agenţiilor judeţene O.N.T.

Uzina de Motoare și Compresoare

Timpuri Noi

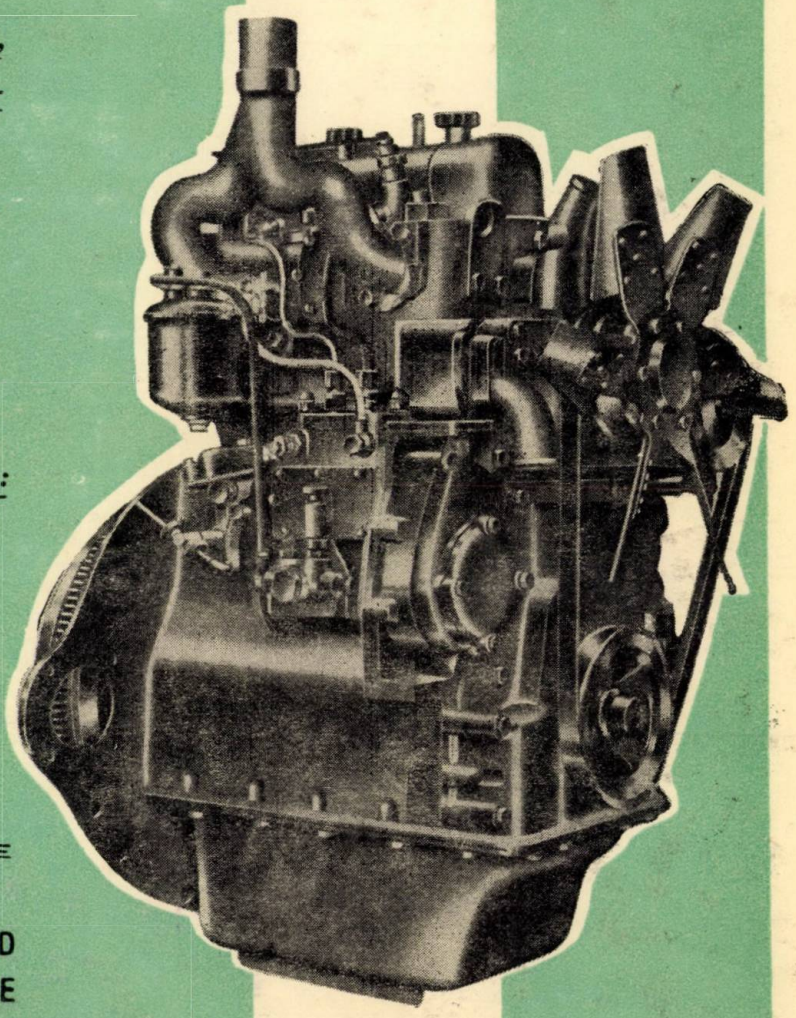
BUCUREȘTI

execută și livrează în țară și străinătate



COMPRESOARE DE AER CU PISTON, CU DEBITE PÎNĂ LA 10 m³/min ȘI PRESIUNI 4-14 kgf/cm² PENTRU :

- Locomotive
- Instalații petroliere
- Excavatoare
- Automatizări
- Troleibuze
- Șantiere
- Garaje
- Vopsitorii



MOTOARE DIESEL CU PUTERI PÎNĂ LA 100 CP PENTRU :

- Utilaje de construcții
- Utilaje pentru agricultură
- Pompe de uz general și speciale
- Generatoare de c.a. și c.c.
- Motocare și motoridicătoare
- Ambarcațiuni
- Utilaje pentru silvicultură

PENTRU REZOLVAREA PROBLEMELOR DV. PRIVIND ANTRENAREA CU MOTOARE DIESEL INDUSTRIALE ȘI UTILIZAREA COMPRESOARELOR DE AER CU PISTON

CONSULTAȚI SPECIALIȘTII UZINEI „TIMPURI NOI"

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Din București – Bd. T. Vladimirescu 45–47 — telefon 31.41.00

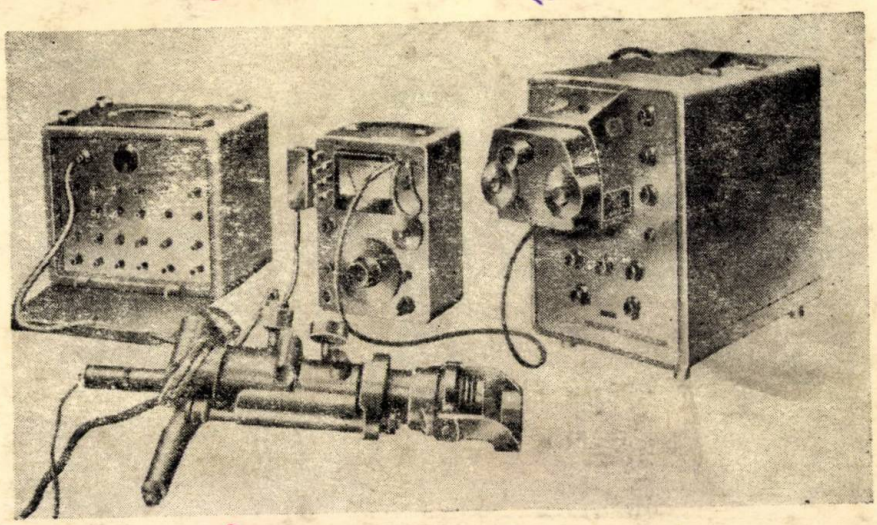
Электротехнический Научно-исследовательский и Проектный Институт.

Electrical Engineering and Research Institute

Forschungs-und Proiectierungsinstitut für die Elektroindustrie

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Électrotechnique

1969 AUG 22



Primește comenzi de cercetare și proiectare, cu profil electrotehnic.

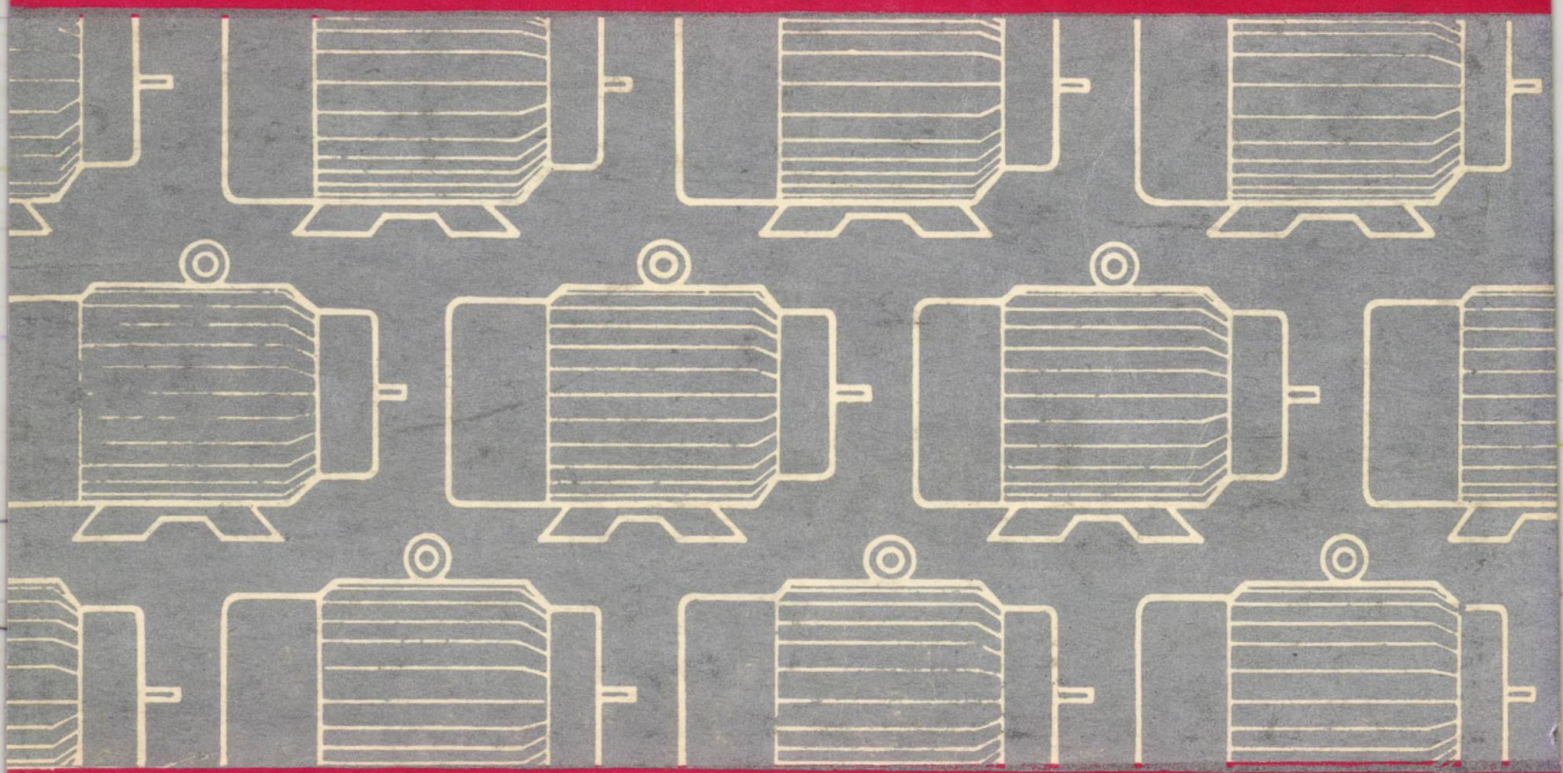
Institutul execută studii, încercări, omologări și prototipuri din domeniul mașinilor și transformatoarele electrice, aparatelor de joasă și înaltă tensiune, acționărilor electrice, climatizării produselor industriale, calculelor cu mașini electronice, materialelor electrotehnice.

ICPE

E 2040

REFERALVA

ELECTROTEHNICA



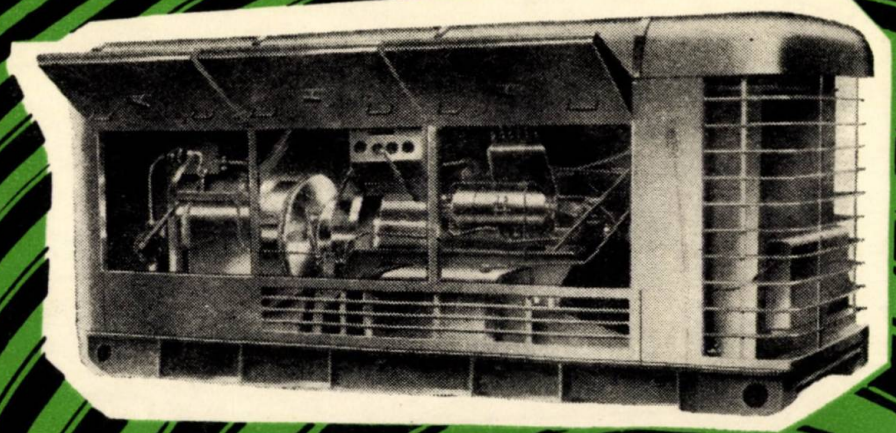
ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 17 • Nr. 2 • FEBRUARIE 1969

2

UZINA DE MASINI ELECTRICE

IME BUCUREȘTI

PRODUCE ȘI LIVREAZĂ ÎN MOD CURENT:

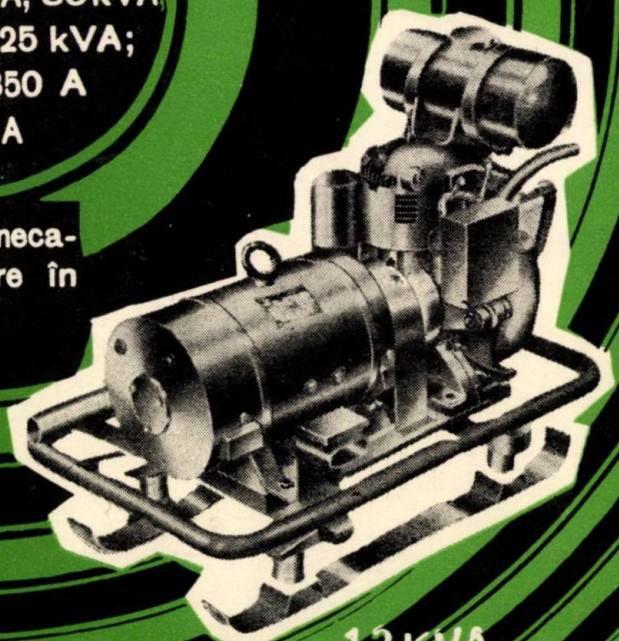


125 KVA

Grupuri electrogene antrenate de motoare cu benzină şi motoare Diesel, de diferite tipuri şi

puteri:
1,2 kVA; 4 kVA;
5 kVA; 30 kVA;
38kVA; 50kVA; 80kVA;
100 kVA; 125 kVA;
150kVA; 350 A
500 A

Grupurile pot fi livrate în construcţie stabilă, necapotate; semimobilă, capotate pentru funcţionare în exterior şi mobilă montate pe remorci.



1.2 KVA

E 2040

ORSZÁGOS SZÉCHÉNYI KÖNYVTÁR * BUDAPEST 1983

ELECTROTEHNICA

Anul 17 Nr. 2, p. 45—84 februarie 1969

CUPRINS

CZ 621.3..018.7 :517.512.2 :681.322

Manciu, T.; **Programarea analizei armonice Thomson Runge la calculatoare electronice mici.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 45—50

Se actualizează, într-o variantă pentru tehnica nouă de calcul, metoda numerică clasică Thomson Runge pentru determinarea armonicelor undelor de curent sau tensiune nesinusoidale (deformate).

Se obține o mare accelerare și ușurare a calculului folosind tabela de coeficienți pentru rezultate, precalculată de autor și tipărită în extenso în revistă, drept instrument de calcul.

CZ 621.313.1.045.8.001.24

Wächter, T. : **Metoda de calcul a umplerii crestăturilor la mașinile electrice bobinate cu conductoare rotunde.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 50—52

Caracterul convențional al factorului de umplere, actualmente folosit în proiectare, nu dă siguranță proiectantului în toate cazurile. Se recomandă de aceea utilizarea concomitentă a unui factor de așezare, definit și calculat în lucrare.

Se dau două exemple de calcul, arătîndu-se buna lor concordanță cu practica.

CZ 621.315.1.015.4.027.88

Iordănescu, I. și *Iacobescu, Gh.* : **Efectul Ferranti și influența lui asupra supratensiunilor stabilizate la liniile de foarte înaltă tensiune.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 52—57

Efectul Ferranti se manifestă într-o măsură din ce în ce mai mare la liniile electrice, o dată cu trecerea la tensiuni foarte înalte. Influența se constată atît la manevrele de conectare, cît și la cele de deconectare ale acestor linii. La tensiunile de 400 kV și 700 kV unde pot apărea supratensiuni stabilizate de frecvență industrială datorită efectului Ferranti, care periclitează izolația, este necesar să se prevadă bobine de reactanță pentru compensarea transversală.

CZ 621.315.616. 96.048.82.004.14 :551,571

Pîrligras Ecaterina, Kemeny Rozalia, Teodorescu Minodora și *Antohi, C.* : **Unele aspecte privind utilizarea rășinilor epoxidice la impregnarea echipamentelor electrotehnice care funcționează în mediu cald-umed.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 57—60

În scopul utilizării rășinilor epoxidice pentru impregnarea înfășurărilor integrate în motoare sau aparate solicitate la căldură umedă, autorii au executat încercări atît pe bobine și motorete, cît și pe produse finite impregnate în rășină expodică. S-a constatat că aceste materiale de impregnare — care au avantajul unei tehnologii mai simple — se pot utiliza la produsele electrotehnice tropicalizate, deoarece asigură valori corespunzătoare pentru rezistența de izolație și la încercarea la tensiune.

CZ 621.315.624.027.8.004.64

Vascan, Th. și *Andreescu, M.* : **Contaminarea izolatoarelor de înaltă tensiune. Metode de încercare.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 61—73

După o scurtă prezentare a contaminării și factorilor de care depinde micșorarea tensiunii de conturnare a izolatoarelor se descrie mecanismul conturnării sub strat străin și metodele de evaluare în exploatare și în laborator a comportării izolatoarelor contaminate. Se prezintă apoi, detaliat, metoda de contaminare artificială cu ceață salină aleasă pentru experimentare la I. C. P. E., precum și instalațiile tehnologice de producere a ceții saline și aparatura de măsură specifică acestei încercări.

CZ 621.372.43.001.2 :538.652

Niculescu, T. și *Simonescu Marga* : **Precizări cu privire la proiectarea și construcția liniilor de întîrziere magnetostrictive.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 73—78

Discuții

Electrotehnica **17** nr. 2, februarie 1969, p. 78—79

RECENZII ● REFERATE ● SCURTE ȘTIRI

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.3.018.7 :517.512.2 :681.322
Манчиу, Т.: **Программирование гармонического анализа Томсона Рунге на малых счетных электронных машинах.**
Electrotehnica **17**, nr. 2, февраль, 1969 стр. 45—50.

Автор актуализирует классический цифровой метод Томсона Рунге для новой вычислительной техники в целях определения гармоник токовых волн или несинусоидальных (искаженных) напряжений.

Применением таблицы коэффициентов для результатов, ускоряется и значительно облегачется расчет. Автор произвел предварительный расчет этой таблицы и опубликовал ее полностью в журнале в качестве пособия для расчета.

ДК 621.313.1.045.8.001.24
Вехтер, Т.: **Метод расчета заполнения пазов электромашин, обмотанных круглыми проводами.**
Electrotehnica **17**, nr. 2, февраль 1969, стр. 50—52

Условный характер коэффициента заполнения, применяемый в настоящее время проектировщиком, не обеспечивает во всех случаях необходимой надежности. Поэтому рекомендуется использовать одновременно и коэффициент установки, определенный и рассчитанный в работе.

Приводятся два примера расчета и показана полная их применяемость на практике.

ДК 621.315.1.015.4.027.88
Иордэнеску, И. и *Якобеску Г.:* **Эффект ферранти и его влияние на стабилизированные перенапряжения высоковольтных линий**
Electrotehnica **17**, nr. 2, февраль 1969, стр. 52—57

Эффект ферранти проявляется на электролиниях всё в большей степени, одновременно с переходом к весьма высоким напряжениям. Влияние проявляется как при включении, так и при выключении этих линий.

При напряжениях 400 кв и 700 кв, где могут возникнуть стабилизованные напряжения промышленной частоты вследствие эффекта ферранти, опасного для изоляции, необходимо предусмотреть реактивные катушки для поперечной компенсации.

ДК 621.315.616.96.048.82.004.14 :551.571
Пырлиграс Екатерина, Кемени Розалия, Теодореску Минодора и *Антохи, К.:* **Некоторые аспекты использования эпоксидных смол при пропитке электрического оборудования, работающего в тепло-влажной среде.**
Electrotehnica **17**, nr. 2, февраль 1969, стр. 57—60

В целях использования эпоксидных смол для пропитки интегрированных обмоток в двигателях или аппаратах, работающих в тепловлажной среде, авторы провели испытания как на катушках и моторетах, так и на готовых изделиях, пропитанных эпоксидными смолами. Установлено, что эти пропиточные материалы, с преимуществом более простой технологии, могут быть использованы на электротехнических изделиях, предназначенных для тропиков, так как обеспечивают соответствующие значения в отношении прочности изоляции и испытания на напряжение.

ДК 621.315.624.027.8.004.64
Васкан, Т. и *Андрееску, М.:* **Контаминация изоляторов высокого напряжения. Метод испытания.**
Electrotehnica **17**, nr. 2, февраль 1969, стр. 61—73

После краткого изложения контаминации и факторов, от которых зависит уменьшение напряжения перекрытия изоляторов, авторы описывют механизм перекрытия под посторонним слоем и методы эксплуатационной и лабораторной оценки поведения контаминированных изоляторов.

В дальнейшем излагается детально метод искусственной контаминации при помощи солёного тумана, применяемого для опытов в I.C.P.E. и технологических установках по приготовлению солёного тумана. Дается также описание специфической измерительной аппаратуры, используемой для этих опытов.

ДК 621.372.43.001.2 :538.652
Никулеску, Т. и *Симонеску, Марга:* **Уточнения в связи с проектированием и конструкцией магнитострикцивных линий задержки.**
Electrotehnica **17**, nr. 2, февраль 1969, стр. 73—78

ДИСКУСИИ
Electrotehnica **17**, nr. 2, февраль 1969, стр. 78—79

РЕЦЕНЗИИ ● РЕФЕРАТЫ ● КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.3.018.7 :517.512.2 :681.322

Manciu, T. : **Die Programmierung der harmonischen Analysis von Thomson Runge bei den kleinen elektronischen Rechenmaschinem**

Electrotehnica **17**, H. 2. Febr. 1969, S. 45—50

Für die neue Rechenmethode wird zur klassischen, nummerischen Methode von Thomson Runge in einer entsprechenden Variante zurückgegriffen um die Harmonischen der nichtsinusförmigen (deformierten) Strom — oder Spannungswellen zu bestimmen.

Man erhält eine grosse Beschleunigung und Erleichterung im Rechnen bei Verwendung der als Recheninstrument dienenden, vom Verfasser vorausberechneten und in der Zeitschrift ausführlich angegebenen Koeffizitententabelle für die Resultate.

DK 621.313.1.045.8.001.24.

Wächter, T. : **Berechnungsmethode der Nutenfüllung bei elektrischen Maschinen mit Rundleitern.**

Elnctrot9hnica **17**, H. 2, Febr, 1969, S. 50—52

Der konventionnelle Charakter des Füllfaktors, der z. Z. in der Projektierung Verwendung findet, bietet dem Projectanten nicht überall genügende Sicherheit. Man emfiehlt deshalb die gleichzeitige Anwendung eines Einsetzfaktors, welcher in dem Aufsatz bestimmt und berrechnet wird.

Es werden auch zwei Berechnungsbeispiele angegeben und ihre volle Uebereinstimmung mit der Praxis gezeigt.

DK 621.315.1.015.4.027.88

Iordănescu, I. und *Iacobescu, Gh.* : **Der Ferrantieffekt und sein Einfluss auf die stabilisierten Hochspannungen bei Leitungen sehr hoher Spannungen.**

Electrotehnica **17**, H. 2. Febr, 1969, S. 52—57

Der Ferrantieffekt hommt bei elastischen Leitungen beim Uebergang auf sehr hohe Spannungen immer mehr Zum vorschein.

Sein Einfluss wird sowohl bei den Ein — auch bei den Ausschaltvorgängen dieser Leitungen beobachtet.

Bei Spannungen von 400 kV und 700 kV, wo wergen des Ferrantieffektes stabilisierte Ueberspannungen mit Industriefrequenzen auftreten können und dadurch die Isolation gefährden können, ist es notwending Reaktanzspulen zur Querkompensation vorzusehen.

DK 621.315.616.96.048.82.004.14 :551.571

Pârligras Ecaterina, Kemeny Rozalia, Teodorescu Minodora und *Antohi, C.* : **Einige Gesichtspunkte bzgl. der Verwendung von epoxydischen Harzen zur Imprägnierung elektrotechnischer Erzeugnisse, die im feucht-warmen Medium arbeiten.**

Electrotehnica **17**, H. 2, Febr, 1969, S. 57—60

Zwecks Verwendung von epoxydischen Harzen zur Imprägnierung von Motorwicklungen oder Apparaten, die von feuchter Wärme beansprucht werden haben die Verfasser entsprechende Versuche ausgeführt und zwar sowohl mit Wicklungen und Motoreten als auch mit fertigen Erzeugnissen, die mit epoxydischen Harz imprägniert warren.

Man stellte dabei fest dass diese Imprägnierstoffe — die den Vorteil einer einfacheren Technologie aufweisen — bei elektrotechnischen Erzeugnissen für Tropengegenden verwendet werden können, weil sie entsprechende Werte bzgl. Isolation und Spannungsprüfung besitzen.

DK 621.315.624.027.8.004.64.

Vascan, Th. und *Andreescu, M.* : **Das Beschlagen der Hochspannungsisolatoren. Die Prüfmethode.**

Electrotehnica **17**, H. 2, Febr, 1969, S. 61—73

Nach einer kurzen Darstellung des Beschlagens und der Faktoren, welche die Senkung der Ueberschlagspannung bei Isolatoren bestimmen, wird der Vorgang des Ueberschlages unter einer Fremdschicht sowie die Schätzungsmethoden im Betrieb und im Laboratorium bzgl. des Verhalttens von beschlagenen Isolatoren beschrieben. Im Folgenden wird ausführlich die Methode des künstlichen Beschlagens mittels eines von dem I. C. P. E. für den Versuch gewählten Salznebels dargestellt einschl. der technologischen Anlagen zur Erzeugung dieses Nebels sowie der Spezialmessaparatur dieser Verzuches.

CZ 621.372.43.001.2.538.652

Niculescu, T. und *Simonescu Marga* : **Beiträge bzgl. Entwurf und Konstruktion der magnetorestriktiven Verzögerungslinien.**

Electrotehnica **17**, H. 2, Febr. 1969, S. 73—78

Diskussionen

Electrotehnica **17**, H. 2. Febr. 1969, S. 78 — 79

BUCHBESPRECHUNGEN ● REFERATE ● KURZNACHRICHTEN

CONTENTS

DC 621.3.018.7 : 517.512.2 : 681.322

Manciu, T. : **The programming of the Thomson Runge harmonic analysis in small electronic computers.**

Electrotehnica **17**, nr. 2. februarie 1969, p. 45—50

A variant or the classical numerical method Thomson Runge used to determine the harmonics of the non-sinusoidal deformed) current or tension wares is adapted to the new calculation technics. The calculus are performed more rapidly and easier by using as calculus instrument the coefficient table precalculated by the author and published *in extenso* in the periodical.

DC 621.313.1.045.8.001.24

Wächter, T. : A **method of calculating the filling of the slots in electric machines wound with round conductors.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 50—52

The conventional character or the filling factor presently used in the designing in not reliable in all the cases. It is therefore suggested to use simultaneously a settling factor, which is defined and calculated in the paper. Two calcules exemples are given and their good agrement with practice are pointed out.

DC 621.315.1.015.4.027.88

Iordănescu, I. and *Iacobescu, Gh.* : **The Ferranti effect and its influence on the stabilised overvoltages in very high tension lines.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 52—57

The Ferranti effect appears to an ever increasing extent in the electric lines since the passage to very high tensions. Its influence found both in connection and disconnection operations of these lines.

In 400 kV — and 700 kV tensions, whire stabilised overvoltages of industrial frequency can occur due to the Ferranti effect which are hazardous to insultation, it is necessary to provide reactance coils for transversal compensation.

DC 621.315.616.96.048.82.004.14 :551.571

Pîrligras Ecaterina, Kemeny Rozalia, Teodorescu Minodora and *Antohi, C.* : **Some aspects concerning the epoxidic resins for the impregnation of electrotechnical equipments working in warm in moist medium**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 57—60

In order to utilize the epoxidic resing for the impregnation of integrated windings in engines or apparates subject to moist heat, the authors carried out some tests on coils and small engiens as well as with finished products impregnated with epoxidic resins. It has been found that there impregnation materials — which offer the advantage of an easier technology — can be used in the tropicalised electrotechnical products since they ensure adequate values for the insultation resistance and the tension test.

DC 621.315.624.027.8.004.65

Vascan, Th. and *Andreescu, M.* : **The contamination of high-tension insulators. The testing method.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 61—73

After briefly presenting the contamination and the factors on which the reduction of the insulator flashover tension depends, the authors describe the flashover mechanism under alien layer and the methods of estimating in exploitation and laboratory the behaviour of contaminated insulators. A detailed description is then given of the artificial contamination method with saline mist chosen for experimentation at the Electrotechnical Research and Desing Institute as well as of the technological installations for the production of saline mist and of the specific measuring apparatus.

DC 621.372.34.001.2.538.652

Niculescu, T. and *Simonescu Marga* : **Considerations concerning the designing and construction of magnetostrictive delay lines.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 73—78

Discussions

Electrotehnica **17**, nr. 2. februarie 1969, p. 78—79

ABSTRACTS ● REVIEWS ● BRIEF NEWS

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 nr. 2 București, februarie 1969

Programarea analizei armonice Thomson Runge la calculatoare electronice mici

Toma Manciu* — București

CZ 621.3.018.7:517.5122.:681.32

1. Considerații generale

Introducerea tot mai largă a elementelor neliniare (redresoare, semiconductoare, lămpi cu descărcări etc.) accentuează fenomenele deformante în rețelele electrice.

Totodată dotarea chiar și a laboratoarelor uzinale modeste cu tehnică nouă, osciloscrafe și chiar calculatoare mici, creează condiții largi pentru analizarea undelor de curent și tensiune.

Este știut că armonicele superioare în unele cazuri particulare pot da loc la rezonanțe periculoase de curent sau de tensiune, cauzînd supraîncălzirea mașinilor sau străpungerea izolațiilor.

Pînă acum determinarea armonicelor prin metodele numerice Thomson Runge, Fischer Hinnen, Clayton etc. [1], [2], [3], [4], [5], [6] era foarte laborioasă, necesitînd calcule la mașini mecanice de ordinul a zeci de ore, precum și numeroase formulare sau procurare de cartoane ajurate.

Întrucît calculul aritmetic era faza cea mai lungă, cea mai obositoare intelectual și cea mai frecvent supusă erorilor, metodele vechi reduceau la minimum calculele, impunînd în schimb operații mai complicate și diverse ca : înmulțiri dintre cifre din linii și coloane diferite, scrierea rezultatelor intermediare, determinări de semne la funcții trigonometrice de sute și mii de grade (cos $8 \cdot 18 \cdot 10°$) etc., ceea ce ducea iarăși la greutățile mai sus arătate.

Introducerea în uz a unui calculator electronic de birou, de exemplu de tip mic ELKA 22 (R.P. Bulgaria) sau mediu OLIVETTI (Programma 101), schimbă radical situația.

Spre exemplu ELKA 22 execută adunări în 0,1 s înmulțiri în 0,3 s și împărțiri cu zece cifre exacte în 0,5 s, avînd deci o viteză de operație cu un ordin de mărime mai mare ca viteza de scriere a operatorului uman [7], [8].

De asemenea calculul nu mai reclamă efort intelectual și este lipsit de greșeli.

Executarea analizei Thomson Runge după vechile metode și formulare ar fi total ineficace, deoarece viteza enormă de calcul a mașinii electronice nu ar folosi la nimic din cauza diversității operațiilor ([9], pag. 42).

În aceste noi condiții economia rezolvării nu va mai ține seamă de numărul operațiilor aritmetice, ci va căuta simplificarea, șablonarea lor prin executarea doar *pe coloană*. De asemenea se vor elimina scrisul manual și operațiile trigonometrice, deoarece aceste faze poartă acum cele trei greutăți semnalate. Ca rezultat se va reduce calculul armonicelor la circa un timp de o oră și spațiu de două pagini putînd fi efectuat și de către personalul mediu.

2. Împărțirea analizei. Programare

Desigur că la un calculator electronic mare, automat (în mai multe corpuri cu memorie foarte mare) este mai simplu a se programa automat, în limbajul specific, cele două formule originale pentru armonice :

$$Bn = 1/p \sum_0^{2p} Y_k \cos nk\,\pi/p, \text{ [2], ecuația (181)}$$
$$An = 1/p \sum_1^{2p} Y_k \sin nk\,\pi/p$$

și introducînd toate datele în mașină la început, se vor obține automat amplitudinile armonicelor.

Cu aceasta funcția dată grafic se poate sintetiza înforna cunoscută ([1] [2] etc.) $y = \sum_1^n An \sin \cdot nx + \sum_0^n Bn \cos nx$, cu $nx = n\omega t$.

Dar accesul la un calculator mare este dificil, scump, problema este neuzuală, programarea durează, așa că în acest articol se tratează cazul calculatoarelor mici a căror memorie este limitată : 1 memorie a 12 cifre (zecimale) la

* Ing. *T. Manciu* este șeful laboratorului electric I.T.B.

ELKA 22 sau 10 memorii cu 11 cifre la OLIVETTI (Programma 101).

Este evident că pornind a face analiza Thomson Runge, de exemplu, cu 36 ordonate pe o perioadă 2 p (absolut suficient în practică) nu avem capacitatea suficientă de memorizare pentru a face un singur calcul exclusiv pe mașină.

Se va împărți deci calculul în două părți: rezumarea datelor și determinarea armonicelor urmînd metoda clasică, dar modificînd-o într-o nouă variantă, în acord cu posibilitatea calculatorului.

Pentru obținerea tabelului rezumativ se va înscrie așa cum este obișnuit [1], [2], [3] etc. cele 36 ordonate ale curbei de analizat în liniile 1 și 2 ale formularului anexat și se vor executa la calculator adunări și scăderi asupra cifrelor pe o coloană verticală. De exemplu, se va lua coloana întîi (curba redresată exprimată în sinus) și se vor tipări slab doar cîteva valori pentru a lăsa formularul utilizabil:

Programul 1

(3)	Pentru ELKA 22 se face programul 1 manual*
C	apăsînd în ordinea dată clapele mașinii simbo-
0,174	lizate, iar cifrele se clapează, inclusiv virgula
+	în ordinea citirii
⊕	Rezultatele cifre și virgulă apar luminos pe
0,174	cadran. Se obține cu clapa ◇ din registrul P
+	suma ordonatelor $S = 0{,}348$ și se înscrie în
⊖	linia trei și patru, iar cu M se obține diferen-
◇ 0,348	ța ordonatelor $D = 0{,}000$ din registrul M și se
M 0,000	înscrie în linia 5 și 6 din aceeași coloană.

Pentru calculatorul OLIVETTI se poate face programul 01 scris pe instrucțiuni în limbajul mașinii executat manual sau memorat automat în stînga** regim start stop ciclic cu AV—V.

Programul 01

AV	De exemplu: începere, anulare B, oprire stop,
B★	claparea 0,174 (se înscrie în M) și apoi S
S	start continuare automat, transfer în B, anu-
(0,174)S	lare C, oprire, clapare 0,174, start continuare,
B↑(M)	transfer în C, transfer prima cifră din B în A,
C★	sumare cu C, imprimare total, apoi diferența
S	etc. Programul este exemplificativ, de fapt se
(0,174)S	poate lucra doar cu semiregistre, sau se poate
C↑(M)	face un program mai complicat care să dea
B↓(A)	direct tabela rezumativă cu formula: $S_{s1}=Y_1+$
C+	$+Y_3+Y_{17}+Y_{19}$ etc. Se observă că programul 01
A◇0,348	este mult mai lung pentru un ciclu, dar se
B↓(A)	desfășoară automat cu excepția opririlor S
C−	pentru claparea ordonatelor, după care se con-
A◇0,000	tinuă automat apăsînd clapa S start pînă la V,
/◇	de unde mașina se întoarce iarăși la AV și se
V	oprește la primul S gata pentru un nou ciclu.
	Rezultatele se găsesc imprimate pe banda de
	hîrtie.

Repetînd de 18 ori programul 1 sau 01 se obțin sumele S și diferențele D ale ordonatelor completînd liniile 3, (4) și 5, (6), cu observația că începînd de la coloana 10 se scriu rezultatele în linia 4 și, respectiv, 6 cum arată săgețile pregătind repetarea programului și economisind scrisul manual

Mai departe pornind de la sume S se repetă programul 1 sau 01 de nouă ori și se obține pe coloană liniile 7 și 8 stînga suma sumelor Ss și diferența sumelor Ds care vor folosi la calculul armonicelor în cosinus.

Pornind de la diferențele D se repetă încă de nouă ori programul 1 sau 01 și se obține suma diferențelor Sd și diferența diferențelor Dd care însă se înscriu tot pe liniile 8 și 7 în partea dreaptă, pentru a le putea folosi la calculul armonicelor în sinus.

Cu aceste 36 operații care durează maximum 20 min din care 7 s calculul efectiv la ELKA 22, tabelul rezumativ, liniile 7 și 8 este terminat, și cu aceasta s-a încheiat și scrisul manual.

---

* Pentru înțelegerea ideilor noastre, se subliniază că toate mașinile de calculat începînd de la cele mecanice cu manivelă și terminînd cu cele electronice foarte mari, sînt programabile, adică la ele se execută calcule diverse prin operații aritmetice simple într-o ordine anumită potrivit logicii lor funcționale și diferit de metoda de calcul învățată de oameni la cursul elementar.

De exemplu la mașina cu manivelă înmulțirea se face printr-un program compus din adunări repetate ale deînmulțitului, iar înmulțitorul rezultă pe un contor al manivelei.

Diferența dintre funcționările mașinilor enumerate este că cele manuale sînt complet neautomate, cele mici sau medii fac unele operații automat ([9], pag. 40), de exemplu, la ELKA înmulțirea și împărțirea prin claparea semnului aritmetic respectiv, la OLIVETTI sînt automatizate șiruri (programe) pînă la 120 de operații, iar la calculatoarele mari porgramul este complet și practic nelimitat automat.

Se menționează că se va încerca a atinge și unele detalii în special pentru ELKA 22 (pentru care nu există manuale de programare), deoarece se consideră că numai așa lucrarea aceasta poate deveni un instrument de calcul practic.

Semnele (clapele) necunoscute în aritmetică valorează:

la ELKA 22

C anulare generală	= total afișat din registrul operațional P pentru × și :
CA anulare registru operațional P	⊕ adunare în registrul memorie M
(3) număr de zecimale 3	⊖ scădere în registrul memorie
◇ total afișat din registrul operațional P pentru + și −	M total afișat din registrul memoriei

În registrul P se fac cele patru operații, iar în registrul M se pot face doar adunare și scădere, alegerea și funcționarea lor fiind liberă.

Operațiile se fac pas cu pas, manual după program.

la OLIVETTI Programma 101 (prescurtare din codul mașini):

S	start stop pentru automatizare;
$V-AV$	desemnarea programului automat;
$BCDEF$	5 memorii duble;
↑(M)	transfer din memoria operativă M în altă memorie de mai sus;
↓(A)	transfer în registrul operativ A;
↕(A) −	interschimb, transfer din registrul operațional A;
◇	total imprimat dintr-un registru ales;
★	ștergerea unui registru ales;
/◇	interval gol pe banda imprimată;
B/	registrul B divizat, partea stîngă.

Toate operațiile se fac între M și A, datele și rezultatele se pot înmagazina în cinci memorii duble (10 simple), iar programul automat în alte două memorii, a 2×24 instrucțiuni.

Se pot face operații manual după program pas cu pas, sau automat cu programul memorat secvențial

** S-a scris în stînga secvența programului automat: în centru clapările (cifre în paranteze), iar în dreapta, rezultatele ce ies din mașină, tipărite.

Se trece acum direct la calculul amplitudinilor armonicelor cu ajutorul formulelor condensate din ecuaţia (181) [2] şi care se tipăresc în anexă repetat cîte armonice sînt şi completate cu funcţiile trigonometrice calculate cu semnele lor, rezultînd o tabelă.

Se elimină astfel pentru utilizare efectuarea operaţiilor transcendente şi a operaţiilor în zigzag (care reclamă o concentrare obositoare), precum şi scrierea rezultatelor intermediare, rămînînd a se executa în număr mare înmulţiri monotone pe coloană şi sumări finale care se execută în întregime pe calculator cu ajutorul memoriei M.

Tocmai faptul că tabela armonicelor este monotonă şi complet ocupată cu coeficienţi, deşi multe valori se repetă, dă posibilitatea redactării unui *singur program automatizabil* pentru toate grupele de armonice.

Pe aceste baze automatizarea programului se poate face cu atît mai departe cu cît este mai mare capacitatea memoriei calculatorului electronic, principiul şi tabela putînd fi folosite la orice maşină.

Pentru armonicele pare în cosinus cu π/p corespunzător 10°, formula de programat este:

$$B_n=(S_{s0}\cos 0+S_{s1}\cos n10°+S_{s2}\cos 2n10°+ +S_{s3}\cos 3n10°+S_{s4}\cos 4n10°+S_{s5}\cos 5n10°+ +S_{s6}\cos 6n10°+S_{s7}\cos 7n10°+S_{s8}\cos 8n10°+ + S_{s9}\cos 9n10°)\cdot\frac{1}{18}.$$

Operaţiile se fac *pe coloană* înmulţind S_{s0} din prima coloană din tabelul rezumativ cu cos 0 din tabela armonicelor etc. şi sumînd în registrul M pe linie apoi toate produsele, urmărind cu ajutorul unei foi de hîrtie îndoite, sau tăind cu creionul liniile efectuate.

Se scrie doar rezultatul final al programului 2 pentru ELKA, şi anume B_n, amplitudinea armonicei căutate (programul 2)

Programul 2

(4)
C

S_{s0}	S_{s1}	S_{s2}	S_{s3}	S_{s4}	S_{s5}	S_{s6}	S_{s7}	S_{s8}	S_{s9}
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
cos n0	cos n10	cos n20	cos n30	cos n40	cos n50	cos n60	cos n70	cos n80	cos n90
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕ $M:18=^{B_n}$

Programul 2a

(4)
C

S_{s1}	S_{s3}	S_{s5}	S_{s7}	S_{s9}	S_{s0}	S_{s2}	S_{s4}	S_{s6}	S_{s8}
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
cos n10	cos n30	cos n50	cos n70	cos n90	cos n0	cos n20	cos n40	cos n60	cos n80
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
⊕	⊕	⊕	⊕	⊕ M (rezultat intermediar)	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕ $M:18=^{B_n}$ rez. intermed. ⊖⊖ $M:18=^{B_{p-n}}$

(Dacă semnul unui produs este negativ în loc de ⊕ se clapează ⊖).

Se repetă acest program de 10 ori pentru cele 10 armonici pare cu observaţia că B_0 (termenul constant) şi B_{18} au coeficient $\frac{1}{2\cdot 18}$ [1], [2], şi se obţin toate armonicele în cosinus par într-o durată de circa 20′.

Pentru a reduce calculul la jumătate, cu ajutorul proprietăţilor armonicelor conjugate* B_n şi B_{p-n}, se poate face la ELKA 22 un program ceva mai complicat 2a, necesitînd şi notarea în scris a unui singur rezultat intermediar care permite însă obţinerea simultană a celor două armonici (programul 2a).

Se observă că se calculează produsele mai întîi la coloanele din chenar unde diferă semnele la grupurile conjugate, iar după aflarea primei armonice se clapează rezultatul intermediar notat, se fac două scăderi şi o împărţire rezultînd şi conjugata.

Dacă se foloseşte programul 2a liniile cu cosinus pentru armonici conjugate se taie de la început cu creionul, rămînînd a executa doar cinci programe.

Pentru exemplul ales (curba redresată în sinus), luînd ordonatele cu trei zecimale (maximum apreciabil pe o oscilogramă), se obţine după două programe 2a:

$$B_0 = +\,0{,}635\,;\ B_{18} = -\,0{,}005\,;$$
$$B_2 = -\,0{,}4277\,;\ B_{16} = -\,0{,}01.$$

Comparînd aceste rezultate cu valorile teoretice exacte ([1] *p.* 69) $B_0=\frac{2}{\pi}=+\,0{,}6366$ şi $B_2=-\frac{2}{\pi}\cdot\frac{2}{3}=-\,0{,}4244$, se observă că erorile totale sînt foarte mici, 0,2%, 0,8% etc., însă crescătoare cu ordinul armonicei [2], [3].

Repetînd de nouă ori (sau de 4 + 1 ori) acelaşi program 2 sau 2a, cu D_s se obţin cele nouă armonici impare în cosinus.

* A se vedea pe tabela rezultatelor, grupurile conjugate.

La fel se obține după încă 8 + 9 programe 2 și armonicile pare și impare în sinus (A_{18} nu se calculează).

Pentru calculatorul OLIVETTI care dispune de 10 memorii splitate (dedublate B, $B/...F.F/$) calculul se simplifică și se accelerează, sumînd nouă produse pe coloană în nouă memorii și obținînd simultan nouă armonici, de exemplu toate în cosinus par.

Rezultă programul automat informativ 02 ciclic $AW-W$, cu o prealabilă anulare generală a mașinii pentru coloana 1.

Programul automat s-a scris în stînga, iar clapările în centru în paranteze și de asemenea s-au scris pentru claritate și registrele (A) și (M) care uzual nu se notează.

A fost impus să se introducă la început și un transfer manual (M) transfer în B pentru a nu depăși capacitatea memoriei de programare : 48 instrucțiuni.

Programul 02

AW	S	S
S	(cos 4.0) S	(cos 8.0) S
(S_{s0})	$B\downarrow(A)$	$B\downarrow(A)$
$B\uparrow(M)$	$(M)X$	$(M)X$
	$D/+$	$F/+$
	$D/\updownarrow$	$F/\updownarrow$
	S	S
(cos 0.0) S	(cos 14.0) S	(cos 10.0 S)
$B\downarrow(A)$	$B\downarrow(A)$	$B\downarrow(A)$
$(M)X$	$(M)X$	$(M)X$
$B/+$	$D+$	$F+$
$B/\updownarrow$	$D\updownarrow$	F $\updownarrow$
S	S	$/\diamond$
		W
(cos 2.0) S	(cos 6.0) S	
$B\downarrow(A)$	$B\downarrow(A)$	
$(M)X$	$(M)X$	
$C/+$	$E/+$	
$C/\updownarrow$	$E/\updownarrow$	
S	S	
(cos 16.0)S	(cos 12.0) S	
$C\downarrow(A)$	$B\downarrow(A)$	
$(M)X$	$(M)X$	
$C+$	$E+$	
$C\updownarrow$	$E\updownarrow$	

Executarea programului se poate simplifica datorită armonicilor conjugate la care nu mai trebuie clapate valorile ce se repetă pe coloană.

Repetînd de zece ori ciclul 02 cu S_{s0} S_{s1} S_{s2} etc. S_{s9}, se obțin direct în memorii cele nouă sume ale produselor. (Se poate cere imprimarea conținutului total al celor nouă memorii). De obicei B_0 lipsește și atunci se poate calcula pînă la armonica B_{18}.

Mai departe împărțirile cu 18 sau 36 a sumelor din cele nouă memorii se fac cu comandă manuală, deoarece atît registrele de cifre, cît și de program sînt toate ocupate afară de B.

Se obține astfel deodată grupul armonicilor pare cosinus : B_0.... B_{18} și se repetă apoi pentru celelalte grupe același program automat.

La grupul sinus par unde lipsesc două linii se clapează zerouri.

Dar toate aceste calcule se reduc la jumătate sau sfert : nouă programe 2 sau nouă programe 02 în cazul analizei curbelor electrice, deoarece acestea avînd anumite simetrii sînt lipsite de unele armonici [1], [2], cum se observă în tabela 1.

Tabela 1

1. Dacă pe grafic curba este simetrică față de axa timpului	termenul constant B_0 este nul
2. Dacă pe grafic $f(x) = -f(\pi + x)$, adică $(Y = -Y_{p+k})$	există doar armonici impare cos și sin, armonicile pare cos și sin sînt toate nule, iar D_S și S_D devin $2S$, respectiv $2D$, ceea ce permite și reducerea calculului tabelului rezumativ, eliminînd liniile intermediare S și D (excepție coloana 9, unde $S_{D9} = D_9$
3. Dacă $f(x) = f(\pi + x)$, adică $Y_k = Y_{p+k}$ (curbă redresată)	există doar armonici pare cos și sin, armonicile impare cos și sin sînt nule și $S_s = 2S$, iar $D_D = 2D$ (excepție $S_{S9} = S_9$)
4. Dacă $f(x) = -f(\pi + x) = f(\pi - x)$ (bisimetrică)	există doar nouă armonici impare în sin, iar $S_D = 2D$ (excepție coloana 9 ($S_{D9} = D_9$)
5. Dacă $f(x) = f(\pi + x) = f(\pi - x)$ (bisimetrică-redresată)	există doar 10 armonici pare în cos, iar $S_S = 2S$ (excepție $S_{S9} = S_9$)

De altfel, chiar dacă nu se ține seamă de aceste observații preliminare se va constata în cazurile arătate că în tabela rezumativă două sau trei linii vor avea valori nule, reducînd deci corespunzător armonicile. În orice caz toate valorile armonicilor se găsesc prin folosirea a două programe diferite 1 și 2 sau a variantelor lor.

3. Sinteza rezultatelor și caracteristici

Pentru aplicații tehnice această parte este facultativă, ceea ce interesează fiind mai ales mărimile armonicelor aflate mai înainte.

Se prezintă comasat armonicile în sinus și cosinus (dacă există ambele), evidențiind defazajul propriu cu formula :

$$\operatorname{tg} \varphi_n = -B/A.$$

Printr-o simplă împărțire se află valoarea raportului și rezultă unghiul φ în tabele trigonometrice.

Printr-o nouă împărţire $\frac{\varphi_n}{n}$ se află unghiul de defazaj faţă de origine, pentru nouă sau în cazul general pentru 18 armonici.

Amplitudinea armonicii rezultante n valorează:

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}.$$

Valoarea se obţine cu programul 3 pentru ELKA, astfel: fie C' un număr între A şi $A + B$ (rădăcină cu aproximaţie grosolană 10—20%):

Programul 3

(4), C, (A_n) X = $\oplus$ (B_n) X = $\oplus$ $M \ominus CA + (C') \oplus \diamond : M = \oplus M \ominus : 2 = \overset{C_n'}{}$ rădăcina la prima iteraţie

$\oplus (C_n^2) : M = \oplus M \ominus : 2 = \overset{C_n''}{}$ rădăcina la a doua iteraţie

Pînă la primul M s-a făcut suma pătratelor care se notează scris (C_n^2), iar apoi se continuă extragerea radicalului prin încercări succesive: diviziuni şi medieri. Două iteraţii dau o precizie foarte mare 4—5 cifre şi sînt suficiente (clapa $\ominus$ după M are ca efect liberarea memoriei pentru continuarea calculului*).

La calculatorul Programma 101 radicalul se extrage *automat* prin apăsare pe clapa cu acest semn, iar sumele pătratelor se fac cu programul pentru polinoame (catalog) sau manual.

Se repetă programul 3 de 9 sau 18 ori şi cu aceste rezultate se poate pune dezvoltarea sub forma $y = C_0 + \sum_1^P C_n \sin (nx - \varphi_n)$, cu $x = \omega t$.

Eventual se convertesc cu scara desenului mm în V sau A.

Se mai prezintă valoarea eficace a undei deformate:

$$C_{ef} = \sqrt{\frac{2C_0^2 + C_1^2 + C_2^2 + \ldots C_9^2 + \ldots C_{18}^2}{2}}.$$

Cu valorile armonicilor calculate se reia programul 3 amplificat în prima parte pentru 9 sau 18 valori şi completat cu împărţirea la 2. Apoi se extrage radical prin două iteraţii sau cu clapa radical.

Această valoare se poate obţine tehnic direct prin măsurare cu voltmetrul electromagnetic.

Reziduul deformant:

$R_d = \sqrt{C_{ef}^2 - C_1^2/2}$ se execută o dată din valorile calculate mai sus cu programul 3, folosind scăderea $\ominus$ în memorie în locul adunării.

Coeficientul de distorsiune (caracteristica cea mai larg adoptată):

$\delta = \frac{R_d}{C_{ef}}$ 100 se execută o dată printr-o împărţire.

O undă se consideră practic sinusoidală dacă $\delta < 5\%$.

Factorul de formă pe 1/2 perioade ([2], ecuaţia (223)):

$$\alpha = \frac{C_{ef}}{C_{med}} = \frac{C_{ef}\frac{\pi}{2}}{\frac{\pi}{2}C_0 + \left(C_1 + \frac{C_3}{3} + \frac{C_5}{5} \ldots \frac{C_{17}}{17}\right)},$$

Programul 4 pentru ELKA începe cu numitorul formulei (223).

Programul 4

(4), C, 3,142 × (C_0) = : 2 = $\oplus$ $(C_1) \oplus (C_3)$:

: 3 = $\oplus$ (C_5) : 5 = $\oplus$ ... (C_{17}) : 17 =

$\oplus (C_{ef}) \times 3{,}142 = : 2 = : M = \overset{\alpha}{}$.

Şi la OLIVETTI este mai simplu a se executa tot manual ecuaţia (223), deoarece se face o singură dată.

Factorul de vîrf sau de creastă pentru tensiuni (important pentru rigiditatea izolaţiei):

$$f = \frac{U_{max}}{U_{ef}}$$

se determină cu ajutorul graficului curbei şi cu U_{ef} calculat mai sus.

Pe cele două pagini tipărite anexat prin grija revistei se găsesc tabela rezumativă, tabela armonicelor şi formulele de sinteză, care pot fi reproduse uşor prin heliografiere sau fotocopiere şi utilizate ca instrument de calcul în combinaţie cu maşina electronică.

Analiza se poate face după acest formular şi la maşini electromecanice Rheinmetal, Mercedes, Olivetti etc. dotate cu o memorie, dar va dura mai mult, deoarece aceste maşini calculează de vreo zece ori mai încet ca cele electronice (bineînţeles programele pentru ELKA se vor transcrie ţinînd seamă de echivalenţa clapelor de operaţii).

Pentru maşini fără registru de memorie separat de registrul operaţional, este de preferat să se execute analiza după vechile formulare sau cartoane ajurate etc., deoarece trebuie scrise toate produsele intermediare.

În încheiere autorul mulţumeşte şi pe această cale pentru tot sprijinul primit din partea tov. prof. dr. doc. *I.S. Antoniu*, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România. De asemenea, mulţumeşte tov. studente *Bratu M.* pentru ajutorul dat la redactarea tabelelor.

* Unele constante (valori) care se clapează, se notează între paranteze rotunde pentru a nu fi confundate, iar rezultatele afişate ce interesează se notează mai sus de rînd.

Bibliografie

[1] * * * Manualul inginerului electrician, vol. 1. București, Editura tehnică.

[2] *Antoniu, I.S.* Chestiuni speciale de electrotehnică. București, Editura Academiei, 1956.

[3] *Antoniu, I.S.* și *Albert, H.* Culegere de probleme. București, Editura energetică, 1954.

[4] *Popescu, Al.* Curs de electrotehnică, vol. 2. București, curs litografiat, 1947.

[5] *Fischer-Hinnen.* Lehrbuch, für Elektrotechnik. Zürich, 1922.

[6] *Kemp, Ph.* Alternating current wave forms. London, Chapman, 1952.

[7] Prospect și Mode d'emploi ELKA 22. Bulgaria, Orgtehnica, 1967.

[8] Olivetti. Manual de programare, București, I.C.P.T., 1966.

[9] *Smirnov, A.D.* Mașini matematice moderne. București, Editura tehnică, 1960.

Intrat în redacție la 13.VII. 1968

Metoda de calcul a umplerii crestăturilor la mașinile electrice bobinate cu conductoare rotunde

Tiberiu Wächter* — Timișoara

CZ 621.313.1.045.8.001.24

La proiectarea înfășurării unei mașini electrice, în ceea ce privește umplerea crestăturilor, se pun două probleme:

— utilizarea cît mai rațională a spațiului crestăturii;

— posibilitatea unei bobinări ușoare, deci cu productivitate ridicată.

Modul în care se face umplerea crestăturii se apreciază cu ajutorul unui factor de umplere f_s care se calculează după relația [1]:

$$f_s = \frac{D^2 nu}{S_n}, \qquad (1)$$

unde:

D este diametrul conductorului izolat;

n — numărul conductoarelor elementare legate în paralel, care formează împreună un conductor activ;

u — numărul de conductoare active pe crestătură;

S_n — secțiunea netă a crestăturii, ca diferență dintre secțiunea totală și secțiunea ocupată de izolații și de pană.

Lucrările [2]—[5] nu indică calculul factorului de umplere. Întrucît problemele semnalate sînt contradictorii, factorul de umplere se consideră optim dacă el se găsește între anumite limite, de exemplu la uzina Electromotor—Timișoara acestea sînt 0,73—0,78.

Calculul cu relația (1) presupune în mod convențional că un conductor ocupă o secțiune egală cu suprafața pătratului circumscris conductorului izolat, iar suma acestor secțiuni se raportează la secțiunea netă. Aceasta presupune o așezare teoretică a conductorilor ca aceea din figura 1 *a*, așezare evident diferită de cea reală înfățișată în figura 1*b*.

Convenția adoptată pentru exprimarea factorului de umplere f_s are deficiența că ea dă numai o idee aproximativă asupra așezării conductoarelor în crestătură. Astfel, factorul de umplere nu arată că uneori prin reducerea diametrului, cu păstrarea secțiunii totale a cuprului, umplerea crestăturii la bobinare este mai ușoară. Dimpotrivă, după cum se va scoate

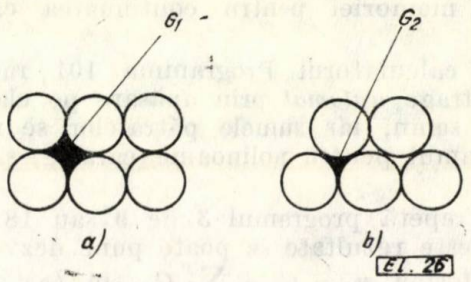


Fig. 1. Așezarea conductoarelor în crestătura mașinii: *a* — teoretică; *b* — reală.

în evidență în exemplele ce urmează, factorul de umplere f_s crește în acest caz, indicînd în mod eronat o bobinare mai dificilă, ceea ce îndepărtează pe proiectant de o soluție care practic se dovedește a fi corespunzătoare.

Numeroasele cazuri de acest fel întîlnite în practică ne-au determinat să căutăm definirea unui nou factor care să țină seamă de o așezare a conductoarelor mai apropiată de realitate.

Factorul de așezare

Factorul de umplere f_s se mai poate exprima:

$$f_s = \frac{D^2 nu}{S_n} = \frac{4}{\pi}(D^2 - G_1)\frac{nu}{S_n}, \qquad (2)$$

unde G_1 este suprafața hașurată din figura 1*a*.

Dacă se încearcă o exprimare a unui factor de umplere f_s' pe baza figurii 1*b*, se poate scrie:

$$f_s' = \frac{4}{\pi}(D^2 - G_2)\frac{nu}{S_n} = \frac{4}{\pi}(1 - g) f_s, \qquad (3)$$

* *Tiberiu Wächter* este inginer proiectant la serviciul Constructor șef al uzinei Electromotor — Timișoara.

unde :

$$g = G_2 / D^2 \cong 0{,}0405 \qquad (5)$$

se calculează din construcții geometrice simple, G_2 fiind suprafața haşurată în figura 1*b*.

Se observă proporționalitatea lui f_a' cu f_s, deci primul nu aduce nici o noutate și nici nu înlătură deficiențele factorului de umplere f_s.

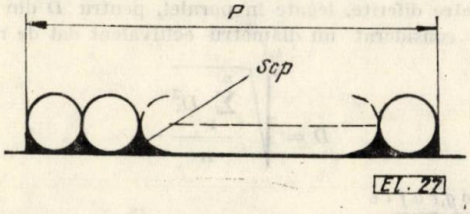


Fig. 2. Așezarea conductoarelor la peretele crestăturii.

Prin urmare nu așezarea reciprocă a conductoarelor condiționează variația factorului de umplere și deci rezolvarea problemei trebuie căutată în altă parte.

Să examinăm așezarea conductoarelor la peretele crestăturii presupus plan și de o lungime p, egală cu perimetrul crestăturii (fig. 2).

Numărul conductoarelor de lîngă perete este :

$$c = \frac{p}{D}, \qquad (5)$$

iar spațiul ocupat de aer dintre conductoare și perete este :

$$S_{cp} = c\,\frac{1}{2}\left(D^2 - \frac{\pi D^2}{4}\right) = k\,pD, \qquad (6)$$

unde s-a notat $k = \dfrac{4-\pi}{8} \cong 0{,}107$.

În afară de acest spațiu inutilizabil, în crestătură mai există spații neocupate între conductoare G_2. Numărul acestora se determină ținînd seamă că fiecare conductor care nu se găsește la perete contribuie cu un spațiu $2 \cdot G_2$, iar fiecare conductor de la perete contribuie numai cu un spațiu G_2 (aceste afirmații pot fi ușor justificate analizînd prin inducție matematică așezarea reciprocă, precum și la perete a conductoarelor).

Spațiul de aer dintre conductoare va fi deci :

$$S_{cc} = 2G_2\,(nu - 0{,}5\,c). \qquad (7)$$

Se definește ca *factor de așezare* f_a raportul dintre spațiul disponibil pentru conductoare S_d și secțiunea netă a crestăturii, S_d calculîndu-se ca diferența dintre secțiunea netă și spațiile ocupate de aer din (6) și (7).

Prin urmare :

$$f_a = \frac{S_d}{S_n} = \frac{S_n - (S_{cp} + S_{cc})}{S_n}, \qquad (8)$$

Modul de definire a acestui factor determină proprietatea esențială a acestuia : de a crește cînd așezarea este mai bună (bobinarea mai ușoară) și de a scădea în caz contrar. Variația sa este deci inversă față de a factorului de umplere.

Înlocuind în (8) relațiile (6) și (7) și ținînd seamă de (4), se obține :

$$f_a = 1 - \frac{\pi D^2 nu}{4S_n} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{gD^2 nu + 2pD\,(k - 0{,}5\,g)}{D^2 nu} \qquad (9)$$

sau :

$$f_a = 1 - f_s \cdot f_w, \qquad (9')$$

unde :

$$f_w = \frac{4g}{\pi} + \frac{8p\,(k - 0{,}5\,g)}{\pi D\,nu}, \qquad (10)$$

iar dacă se înlocuiesc valorile numerice pentru g și k:

$$f_w = 0{,}0515 + 0{,}221\,\frac{p}{Dnu}. \qquad (10')$$

Concluzii

Pe baza relațiilor (1), (9') și (10') se poate calcula simplu și în orice caz practic un factor de așezare f_a care dă indicații asupra felului de aranjare a conductoarelor din crestătură, deci asupra posibilității de bobinare a unei crestături. Datorită modului în care a fost definit factorul de așezare, precizia sa este cu atît mai bună cu cît numărul conductoarelor din crestătură este mai mare. Spre deosebire de factorul de umplere, factorul de așezare are o importanță mai ales relativă, adică atunci cînd se fac comparații sau treceri de la o bobinare la alta. Sînt tocmai cazurile în care se semnalează indicațiile eronate ale factorului de umplere f_s.

Exemple practice

Exemplul I pentru motorul B3—180 L × 22 × × 1500 A (tabela 1)

Tabela 1

Date :	p = 56 mm	u = 28	S_n = 139 mm²
	soluția 1	soluția 2	soluția 3
D	Ø 1,4	Ø 1,15	Ø 1,45
n	2	3	2
f_s	0,79	0,80	0,848
f_a	0,835	0,857	0,827

În cazul soluției 2 din tabela 1 factorul de umplere f_s este mai mare decît la soluția 1, ceea ce indică o bobinare mai dificilă. Această concluzie este însă eronată pentru că în practică s-a constatat o bobinare mai ușoară. În

schimb, factorul de aşezare f_a fiind mai mare, la soluţia 2 el indică corect o îmbunătăţire a condiţiilor de bobinaj.

Soluţia 3 nu s-a realizat practic pentru că, evident, prin simpla mărire a secţiunii conductorului, bobinarea devine mai grea. Acest fapt este scos în evidenţă corect atît de f_s care creşte, cît şi de f_a care scade. Se poate deci trage concluzia că factorul de aşezare f_a arată mai precis decît factorul de umplere f_s dificultatea cu care se bobinează o crestătură.

Exemplul 2 pentru rotorul motorului AFI 180 s/8 (tabela 2)

Tabela 2

Date: $p=78$ mm	$u=30$	$S_n=147$ mm²
	soluţia 1	soluţia 2
D	Ø 1,35 + Ø1,4	Ø 1,20×2 + Ø1,0
n	2	3
f_s	0,772	0,792
f_a	0,799	0,826

Şi în acest caz f_s indică, în mod eronat o bobinare mai dificilă la soluţia 2. Factorul de aşezare şi experimentele efectuate arată în schimb o aşezare mai bună, din care cauză toate rotoarele de acest tip începînd din luna decembrie 1967 s-au bobinat astfel.

Observaţii

Întrucît în tabela 2 s-a indicat folosirea unor conductoare de diametre diferite, legate în paralel, pentru D din relaţia (10′) s-a considerat un diametru echivalent dat de relaţia:

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} D_i^2}{n}}. \qquad (11)$$

Bibliografie

[1] *Vinogradov, N.V., Gorianov, F. A.* şi *Sergheev P.S.* Proiectarea maşinilor electrice, vol. II. Bucureşti, Editura energetică de stat, 1953.

[2] *Richter, R.* Maşini electrice, vol. IV. Bucureşti, Editura tehnică, 1960.

[3] *Postnikov, I. M.* Proiectarea maşinilor electrice. Bucureşti, Editura energetică de stat.

[4] *Klaml, J.* Berechnung und Bemessung elektrischer Maschinen. Berlin, Springer Verlag, 1962.

[5] *Schuisky, W.* Induktionsmaschinen. Wien, Springer Verlag, 1957.

Intrat în redacţie la 3. VIII. 1968

Efectul Ferranti şi influienţa lui asupra supratensiunilor stabilizate la liniile de foarte înaltă tensiune

Ion Iordănescu şi Gheorghe Iacobescu* — Bucureşti

CZ 621. 315. 1.015. 4.027. 8

În perioada actuală de dezvoltare a sistemelor energetice, apariţia unor consumatori sau zone de consum, care necesită puteri importante a determinat concentrarea producerii puterii active în centrale electrice mari, de 1 000 MW şi mai mult, echipate cu grupuri generatoare de puteri unitare de 200—300 MW, precum şi construirea unei reţele electrice complexe care să asigure transportul unor puteri mari, de ordinul a sute de MW, la distanţe de sute de kilometri. Structura unei astfel de reţele constă pe lîngă o reţea de distribuţie de medie şi înaltă tensiune (6, 20, 110 kV) şi dintr-o reţea de foarte înaltă tensiune, respectiv 220 şi 400 kV. În cazuri rare, deocamdată, s-a introdus şi tensiunea de 700—750 kV [5].

Costul acestor linii de diferite tensiuni are o componentă care reprezintă ponderea izolaţiei şi care, pe măsură ce tensiunea nominală a liniei creşte, devine din ce în ce mai mare. Astfel, la o linie de 220 kV cu simplu circuit, izolaţia reprezintă circa 9%, iar la o linie de 400 kV cu simplu circuit, circa 12%.

Unul dintre factorii care influenţează în primul rînd dimensionarea izolaţiei la liniile de foarte înaltă tensiune este tensiunea de funcţionare permanentă maxim admisibilă [4].

Într-un sistem trifazat simetric, în regim normal de funcţionare, izolaţia dintre două conductoare este solicitată la tensiunea maximă de frecvenţă industrială între faze U_m, iar izolaţia dintre conductor şi pămînt de $U_m/\sqrt{3}$.

Dintre valorile acestei tensiuni care pot deveni periculoase pentru izolaţie, supratensiunile stabilizate (neglijînd fenomenul tranzitoriu) apar în cazul liniilor lungi de foarte înaltă tensiune la conectarea acestora în gol sau la deconectarea acestor linii simultan cu descărcarea lor [1].

* Dr. ing. *I. Iordănescu* este consilier la ISPE şi şef de lucrări la Institutul politehnic — Bucureşti, iar dr. ing. *Gh. Iacobescu* — conferenţiar la Institutul politehnic — Bucureşti.

Un aport important la ridicarea tensiunii în cazul acestor manevre îl are efectul *Ferranti*, care va fi examinat în cadrul acestei lucrări în cele două situaţii menţionate.

1. Reprezentarea analitică a liniilor lungi în calculul supratensiunilor stabilizate

În general o linie electrică aeriană reprezintă o succesiune de inductivităţi longitudinale şi capacităţi transversale, precum şi rezistenţe şi conductanţe uniform repartizate. De-a lungul unei astfel de linii în funcţiune sau pusă sub tensiune de la unul din cele două capete apare o distribuţie variabilă de curenţi şi tensiuni.

Legătura dintre aceste mărimi de la începutul liniei U_1 I_1 şi la sfîrşitul acesteia U_2 I_2 este dată de ecuaţiile:

$$U_1 = U_2 \operatorname{ch} \gamma l + Z_c I_2 \operatorname{sh} \gamma l;$$
$$I_1 = \frac{1}{Z_c} \cdot U_2 \operatorname{sh} \gamma l + I_2 \operatorname{ch} \gamma l, \quad (1)$$

unde:

$$\gamma = \sqrt{(R + \mathrm{j}L\omega)(G + \mathrm{j}C\omega)} \quad (2)$$

este constanta de propagare, iar

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + \mathrm{j}\omega L}{G + j\omega C}}, \quad (3)$$

impedanţa de undă (caracteristică).

Dacă linia funcţionează în gol, adică $I_2 = 0$, ecuaţiile (1) devin:

$$U_1 = U_2 \operatorname{ch} \gamma l;$$
$$I_1 = \frac{U_2}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma l. \quad (4)$$

În calculele curente pentru astfel de cazuri se fac anumite ipoteze simplificatoare care conduc la obţinerea unor rezultate ce diferă faţă de cele exacte, elementul principal care influenţează mărimea abaterii fiind lungimea liniei.

Se presupune astfel că se neglijează rezistenţa R şi conductanţa G. În acest caz ecuaţiile (4) devin:

$$U_1 = U_2 \cos \frac{\omega}{v} l;$$
$$I_1 = \frac{U_2}{Z_c} \sin \frac{\omega}{v} l, \quad (5)$$

unde:

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Forma simplificată a schemei echivalente a liniei aeriene funcţionînd în gol corespunde expresiilor:

$$U_1 = U_2 + \frac{1}{2} \mathrm{j}\omega L l I_1;$$
$$I_1 = U_2 \mathrm{j}\omega C l, \quad (6)$$

obţinute din (5) prin dezvoltarea în serie a funcţiunilor trigonometrice şi limitarea la primii doi termeni.

Pentru a constata care este influenţa simplificărilor considerate mai sus asupra valorilor

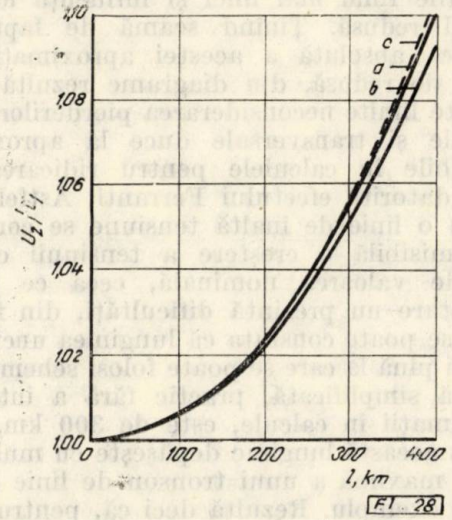


Fig. 1. Variaţia raportului U_2/U_1, funcţie de lungimea unei linii cu un conductor pe fază.

tensiunilor U_1 şi U_2 se reprezintă în figurile 1 şi 2 variaţia raportului U_2/U_1 pentru o linie de înaltă tensiune cu un conductor pe fază (fig. 1) şi cu două conductoare pe fază (fig. 2)

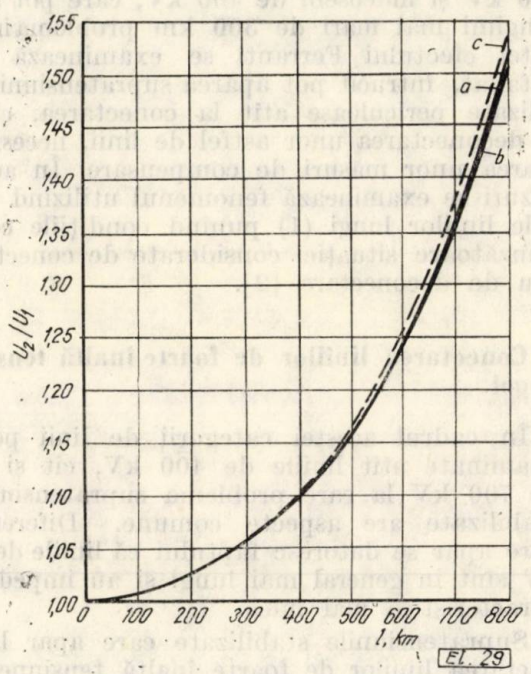


Fig. 2. Variaţia raportului U_2/U_1, funcţie de lungimea unei linii cu două conductoare pe fază.

în funcţie de lungimea liniei (prin efectul Ferranti).

Din examinarea curbelor trasate în aceste figuri se constată că influenţa considerării

pierderilor (curbele c față de b) este diferită după cum linia are unul sau două conductoare pe fază [3]. În primul caz pierderile fiind mai mari și influența lor este mai mare asupra aproximației care se face, iar în al doilea caz pierderile fiind mai mici și influența lor este sensibil redusă. Ținînd seamă de faptul că abaterea absolută a acestei aproximații este destul de redusă, din diagrame rezultă că în anumite limite neconsiderarea pierderilor longitudinale și transversale duce la aproximații admisibile în calculele pentru ridicarea tensiunii datorită efectului Ferranti. Astfel, dacă pentru o linie de înaltă tensiune se consideră ca admisibilă o creștere a tensiunii cu 5% față de valoarea nominală, ceea ce pentru exploatare nu prezintă dificultăți, din figurile 1 și 2 se poate constata că lungimea unei astfel de linii pînă la care se poate folosi schema echivalentă simplificată, practic fără a introduce aproximații în calcule, este de 300 km. Desigur că această lungime depășește cu mult lungimea maximă a unui tronson de linie de 110 kV de exemplu. Rezultă deci că, pentru liniile aeriene de înaltă tensiune din țara noastră, care se încadrează ca lungime în valorile menționate se poate folosi schema echivalentă simplificată corespunzătoare ecuației (6) în scopul studierii fenomenelor de supratensiuni stabilizate care apar la deconectarea în gol.

Pentru liniile de foarte înaltă tensiune, de 220 kV și îndeosebi de 400 kV, care pot avea lungimi mai mari de 300 km problema influenței efectului Ferranti se examinează mai detaliat, întrucît pot apărea supratensiuni stabilizate periculoase atît la conectarea, cît și la deconectarea unor astfel de linii, necesitînd luarea unor măsuri de compensare. În aceste cazuri se examinează fenomenul utilizînd ecuțiile liniilor lungi (1) punînd condițiile corespunzătoare situației considerate de conectarea sau de deconectare [2].

2. Conectarea liniilor de foarte înaltă tensiune în gol

În cadrul acestei categorii de linii pot fi examinate atît liniile de 400 kV, cît și cele de 700 kV la care problema supratensiunilor stabilizate are aspecte comune. Diferențele care apar se datoresc faptului că liniile de 700 kV sînt în general mai lungi și au impedanța caracteristică mai mică.

Supratensiunile stabilizate care apar la conectarea liniilor de foarte înaltă tensiune pot avea valori periculoase pentru exploatare. De asemenea ele mai prezintă importanță în ceea ce privește tendința de reducere a izolației la aceste linii care necesită măsuri de reducere corespunzătoare a supratensiunilor interne. Pe de altă parte conectarea unei linii lungi în gol de foarte înaltă tensiune la o rețea relativ slabă influențează într-o măsură importantă excitația generatoarelor.

În producerea acestor supratensiuni efectul Ferranti are un rol important după amortizarea regimului tranzitoriu. Elementele care determină gradul în care efectul Ferranti influențează valoarea supratensiunii sînt tensiunea nominală a liniei, lungimea liniei și rigiditatea nodului la care se conectează aceasta, exprimată prin puterea de scurtcircuit în nodul respectiv, la barele de racordare.

În ceea ce privește tensiunea nominală, care determină în principal coronamentul liniei și deci caracteristicile acesteia, din tabela 1 se poate constata influența acesteia asupra tensiunii U_2 la capătul receptor al liniei.

Tabela 1

U_1 tensiunea la sursă, kV \ Lungimea, km	U_2 – tensiunea la sosire		
	$l = 100$	$l = 200$	$l = 300$
250	233	235	242
410	414	418	430
730	738	760	804

Astfel se constată că pentru lungimi pînă la cea admisă mai sus, de 300 km, care în cazul liniilor de 400 și 700 kV poate fi depășită, față de tensiunile U_1 admise la capătul sursă al liniei și care sînt valori medii, tensiunile U_2 la capătul receptor al liniei ating valori importante. Se remarcă faptul că tensiunile care rezultă la capătul receptor sînt puțin sub limita admisă de 245 kV la 220 kV, iar la celelalte se depășesc valorile de durată admisibile 420 kV, respectiv 765 kV. Rezultă deci că în cazul acestor linii trebuie luat în considerare efectul Ferranti.

Pentru a examina influența lungimii liniei de conectat și a puterii de scurtcircuit din nodul sursă asupra creșterii tensiunii în capătul receptor, s-a luat cazul unei linii de 400 kV echipată cu 2 × 450 mm² OlAl pe fază, similar celor realizate la noi.

În diagrama din figura 3 se prezintă variația tensiunii din nodul sursă U_1, la care se racordează linia, funcție de lungimea acesteia și pentru diferite valori ale puterii de scurtcircuit în acest nod. Tensiunea în nod înainte de racordarea liniei s-a admis 410 kV. Din figură se constată creșteri foarte mari ale tensiunii U_1 pentru linii mai lungi de 400 km și puteri de scurtcircuit sub 5 000 MVA. Funcție de aceeași parametri în figura 4 se prezintă variația tensiunii la capătul receptor U_2 rămas deschis după conectarea la capătul sursă.

Din această diagramă se constată creșterea tensiunii U_2 la valori inacceptabile pentru exploatare la lungimi ale liniei mai mari de 200 km

și puteri de scurtcircuit sub 5 000 MVA. Aceste supratensiuni solicită suplimentar izolația liniei și duc la apariția conturnărilor și la deteriorarea izolatoarelor.

În scopul reducerii supratensiunilor la ambele capete ale liniei este necesar să se prevadă o *compensare transversală* realizată prin bobine de reactanță. Acestea se pot instala fie la unul din capetele liniei, fie la ambele capete. Pentru a constata efectul acestei măsuri în diagramele din figurile 5, 6, și 7 se prezintă curbele de variație a tensiunilor U_1 și U_2, funcție de lungimea liniei și de puterea de scurtcircuit, cînd linia de conectat nu este compensată sau este prevăzută cu o bobină de 50 MVA, respectiv 100 MVA la capătul liber.

Din diagramele prezentate se constată că efectul de compensare al unei bobine diferă mult, funcție de puterea de scurtcircuit de la nodul

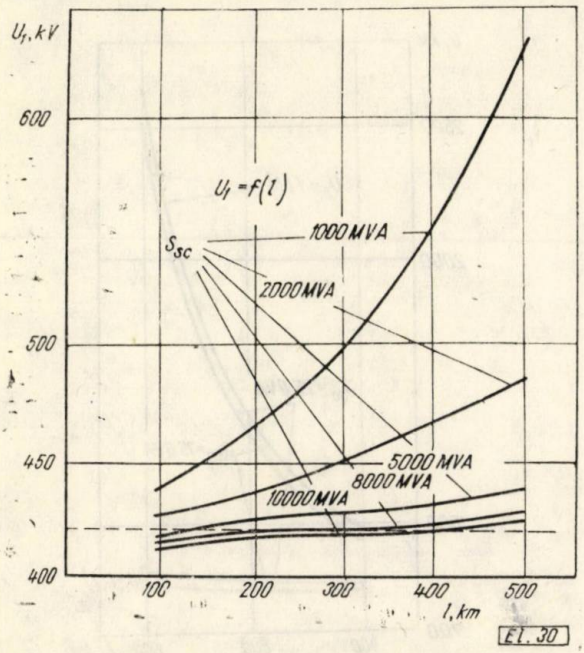


Fig. 3. Variația tensiunii la nodul sursă U_1, funcție de lungimea liniei : U_n = 400 kV.

1, la care se racordează linia. Din figura 6 rezultă că în cazul unei puteri de scurtcircuit de 5 000 MVA, instalînd la capătul liber 2 al liniei o bobină a 50 MVA, se poate limita tensiunea maximă la 420 kV pentru o lungime a liniei de 250 km. Prevăzînd o bobină de 100 MVA la aceeași putere de scurtcircuit, se poate limita tensiunea la 420 kV pentru o linie de 350 km, iar pentru o putere de scurtcircuit de 10 000 MVA linia poate fi de circa 400 km. Cu cît puterea de scurtcircuit crește, deci cu cît sistemul energetic se dezvoltă, aceeași bobină de compensare acoperă o lungime mai mare de linie, ceea ce constituie desigur un avantaj.

În urma acestei examinări rezultă că influența efectului Ferranti poate duce la creșteri importante ale tensiunii de frecvență industrială, atingînd valori periculoase îndeosebi la rețelele de 400 și 700 kV care trebuie avute în vedere

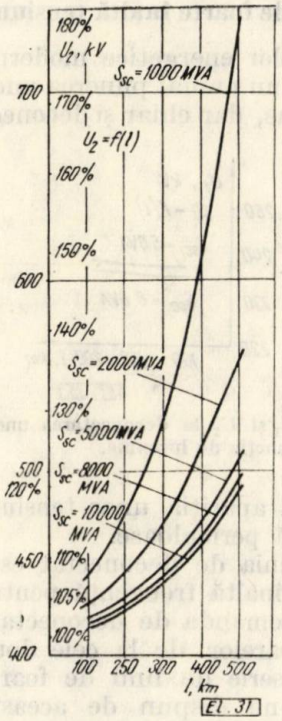


Fig. 4. Variația tensiunii la nodul receptor U_2, funcție de lungimea liniei : U_n = 400 kV.

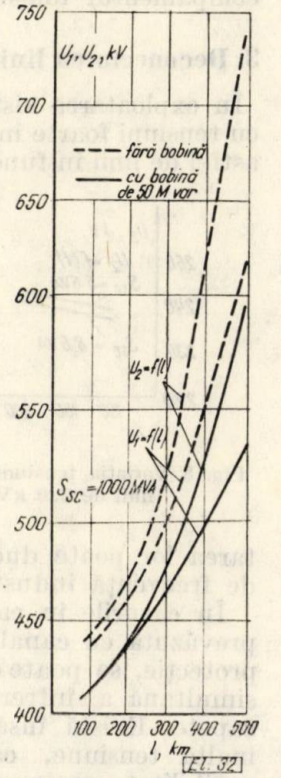


Fig. 5. Variația tensiunilor U_1 și U_2, funcție de lungimea liniei și de gradul de compensare : U_n = 400 kV ; S_{sc} = 1000 MVA.

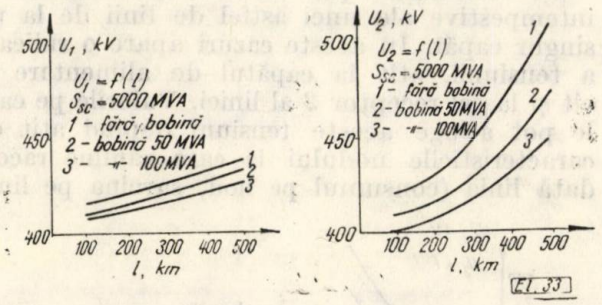


Fig. 6. Variația tensiunilor U_1 și U_2, funcție de lungimea liniei și de gradul de compensare : U_n = 400 kV ; S_{sc} = 5000 MVA.

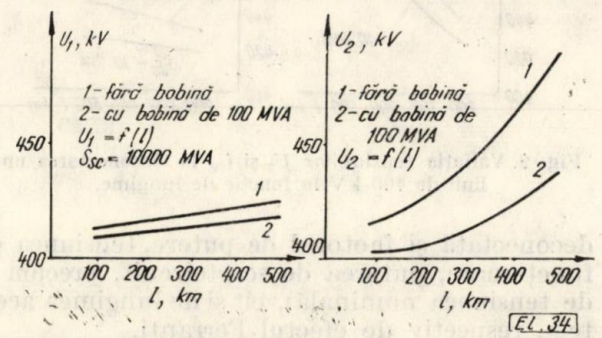


Fig. 7. Variația tensiunilor U_1 U_2, funcție de lungimea liniei și de gradul de compensare : U_n = 400 kV ; S_{sc} = 10 000 MVA.

la proiectarea acestor instalaţii şi prevăzute bobinele de compensare necesare, pentru a menţine tensiunea în limite admisibile pentru echipamentul folosit.

3. Deconectarea liniilor de foarte înaltă tensiune

În exploatarea sistemelor energetice moderne cu tensiuni foarte înalte nu numai punerea unor astfel de linii în funcţiune, dar chiar şi deconectarea lor poate duce la apariţia unor tensiuni de frecvenţă industrială periculoase.

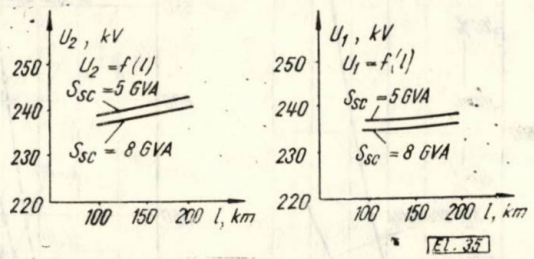


Fig. 8. Variaţia tensiunilor U_1 şi U_2 la deconectarea unei linii de 220 kV în funcţie de lungime.

În cazurile în care linia de deconectat este prevăzută cu canal de înaltă frecvenţă pentru protecţie, se poate da comanda de deconectare simultană a întreruptoarelor de la cele două capete. Există însă o serie de linii de foarte înaltă tensiune, care nu dispun de această posibilitate şi în aceste cazuri scoaterea din funcţiune se face deconectînd mai întîi întreruptorul de la un capăt şi după un timp oarecare se deconectează şi celălalt capăt.

De asemenea pot apărea şi deconectări intempestive ale unei astfel de linii de la un singur capăt. În aceste cazuri apare o ridicare a tensiunii, atît la capătul de alimentare *1*, cît şi la cel receptor *2* al liniei. Valorile pe care le pot atinge aceste tensiuni depind atît de caracteristicile nodului la care rămîne racordată linia (consumul pe nod, sarcina pe linia

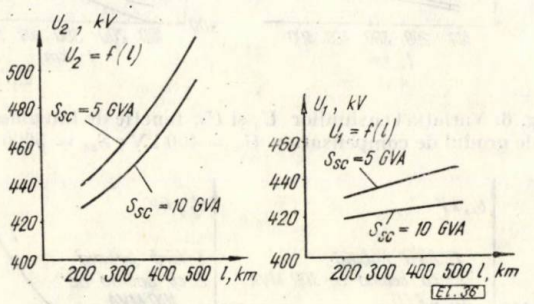


Fig. 9. Variaţia tensiunilor U_1 şi U_2 la deconectarea unei linii de 400 kV în funcţie de lungime.

deconectată şi factorul de putere, tensiunea de funcţionare, puterea de scurtcircuit, precum şi de tensiunea nominală), cît şi de lungimea acesteia, respectiv de efectul Ferranti.

Din calculele care s-au efectuat şi în care s-a considerat că linia se deconectează întîi de la nodul receptor şi apoi de la sursă, s-a constatat influenţa elementelor menţionate anterior asupra tensiunilor care se pot stabili la nodul sursă U_1 şi la capătul deschis al liniei U_2. Rezultatele sînt prezentate în diagramele din figurile 8, 9 şi 10.

Astfel, în ceea ce priveşte tensiunea de 220 kV (fig. 8), se constată că deconectarea de la capătul receptor al unei linii care transportă o putere de 180 mW la cos $\varphi = 0{,}98$ racordată la un nod sursă cu tensiunea de 235 kV în regimul normal, pentru puteri de scurtcircuit şi lungimi posibile pentru această treaptă de tensiune, nu duce la valori periculoase ale tensiunii la nici unul din cele două capete ale liniei.

Situaţia se prezintă astfel pentru tensiunile de 400 kV (fig. 9) şi de 700 kV (fig. 10).

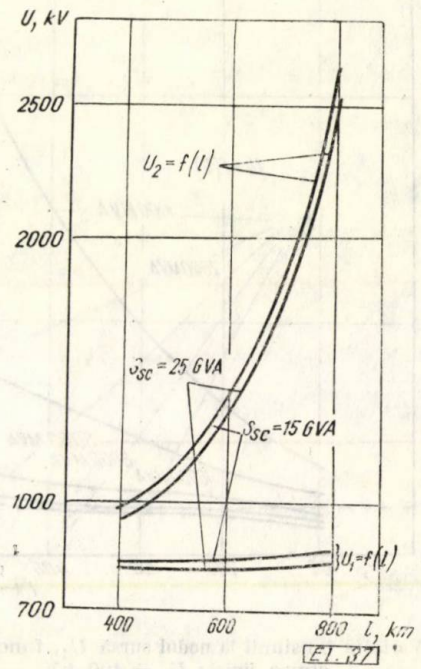


Fig. 10. Variaţia tensiunilor U_1 şi U_2 la deconectarea unei linii de 700 kV în funcţie de lungime.

În cazul tensiunii de 400 kV (fig. 9), faţă de 411 kV valoare considerată în regimul normal în nodul *1* sursă, tensiunea U_1 în acest nod poate ajunge la circa 445 kV, iar la capătul deschis al liniei U_2 depăşeşte 500 kV. De asemenea, pentru tensiunea de 700 kV (fig. 10) rezultă creşteri importante ale tensiunilor la cele două capete ale liniei, atingînd 800 kV la nodul sursă şi 1 300 kV la capătul deschis pentru o lungime de 600 km a liniei. La lungimi mai mari ale liniei valorile tensiunilor cresc foarte mult. Din rezultatele obţinute pentru treptele de tensiune de 400 kV şi 700 kV, se constată importanţa deosebită a efectului Ferranti la rămînerea în gol a unor astfel de linii. Se

menționează că în calculele efectuate pentru aceste cazuri, nu s-a considerat compensarea transversală prin bobine de reactanță. Desigur că prevederea acestor instalații, care (așa cum rezultă și din diagramele întocmite la tensiunile nominale de 400 și 700 kV) sînt necesare, duce la reducerea valorilor tensiunilor în limitele admisibile care să nu producă dificultăți în funcționarea sistemelor energetice.

4. Concluzii

Din examinarea făcută, din acest material, rezultă că efectul Ferranti influențează apariția supratensiunilor stabilizate la liniile de foarte înaltă tensiune și trebuie să se țină seamă de acest lucru la proiectarea sistemelor energetice. Această influență se manifestă atît la manevrele de conectare, cît și la cele de deconectare a acestor linii.

În ceea ce privește valorile care rezultă pentru supratensiunile stabilizate se remarcă faptul că, funcție de lungimile de linii corespunzătoare tensiunii de serviciu, acestea sînt destul de reduse și practic fără consecințe în exploatare pentru liniile de 220 kV.

În cazul liniilor de 400 kV și îndeosebi pentru cele de 700 kV, supratensiunile stabilizate de frecvență industrială cresc foarte mult, devenind periculoase pentru izolație normal dimensionată. Pentru reducerea lor este necesar ca, ținînd seamă de lungimea acestor linii și de caracteristicile electrice ale nodurilor de racordare din sistemul energetic, să se prevadă bobine de reactanță pentru compensarea transversală. Aceste bobine pot fi montate, fie pe înfășurările terțiare ale autotransformatoarelor, fie direct la linii.

Bibliografie

[1] *Avramescu, A.* Solicitările echipamentului stațiilor de foarte înaltă tensiune. În Electrotehnica **7** , nr. 12, 1959, p. 418—427.

[2] *Avramescu, A., Drăgan, Gl., Adămuț, I.* și *Petcu, N.* Studiul supratensiunilor ce apar la declanșarea liniilor în gol cu ajutorul calculatoarelor. În : Stud. cerc. energ. electrotehn. **14**, nr. 2, 1964, p. 319—336.

[3] *Slamecka, P.* Prüfung von Hochspannungs Leistungsschaltern. Berlin Göttingen, Heidelberg, Springer, 1966.

[4] *Avramescu, A.* Principiile tehnico-economice pentru construcția echipamentului de foarte înaltă tensiune. În Electrotehnica **8**, nr. 1, 1960, p. 2—10.

[5] *Avramescu, A.* Problemele tensiunii limită ale transmisiei electroenergetice. În : Electrotehnica **14**, nr. 8, 1966, p. 265—270.

[6] *Roth, H.* ș.a. Schaltüberspannungen im praktischen Netzbetrieb. În : Österr. Z. Energ. **19**, nr. 8, 1966, p. 333—338.

[7] *Kindler, H.* Beitrag zur Untersuchung der Vorgänge beim Abschalten leerlaufender Leitungen in Hochspannungsnetzen. În : Elektrotech. Z. (ETZ-A) **78** nr. 13, 1957, p. 449—457.

[8] *Glavitsch, J.* Surtension à la fréquence de service pouvant apparaitre sur les ligns à très haute tension. În : Rev. BBC **51**, nr. 1—2, ian-feb 1964, p. 5—10.

Intrat în redacție la 12. V. 1968

Unele aspecte privind utilizarea rășinilor epoxidice la impregnarea echipamentelor electrotehnice care funcționează în mediu cald-umed

Ecaterina Pîrligras, Rozalia Kemeny, Minodora Teodorescu și Constantin Antohi * — București

CZ 621.315.616.96.048.82.004.14 : 551.571

Dezvoltarea rapidă din domeniul chimiei de sinteză, care a condus la obținerea unor rășini cu caracteristici complexe, a dus în ultimii ani la elaborarea de noi materiale electroizolante cu stabilitate termică mărită și cu proprietăți fizicomecanice superioare. Apariția acestor izolanți de tip nou a deschis posibilități noi în fabricarea echipamentelor electrotehnice care — la puteri nominale egale — au dimensiuni mai reduse, sînt mai ușoare, sînt mai stabile la acțiunea umidității și — în general — sînt mai sigure în condiții grele de exploatare.

Căldura-umedă constituie unul dintre factorii cei mai agresivi de distrugere a izolației pentru echipamentul care urmează a fi exploatat în astfel de condiții, de aceea alegerea rășinii de impregnare și respectarea tehnologiei sînt hotărîtoare pentru asigurarea bunei funcționări pe o durată rațională de viață din punct de vedere tehnic și economic [1].

Dintre noile tipuri de materiale de impregnare se remarcă lacurile fără solvent, pe bază de rășini epoxidice. Aceste lacuri, relativ ieftine, au o capacitate de cimentare superioară și permit o tehnologie mai avantajoasă decît lacurile siliconice, pe care le-au eliminat la impregnările înfășurărilor, a căror temperatură de regim nu depășește 155°C (clasa F) [2], [3].

Dezavantajul acestor rășini este tendința lor de contracție care — în cazul utilizării la înfășurări cu gabarite mari — trebuie combătută prin adaosuri de flexibilizatori.

* Ing. *E. Pîrligras* este șef de laborator la I.C.P.E., ing. *R. Kemeny* și ing. *C. Antohi* sînt cercetători principali, iar ing. *M. Teodorescu* este cercetător științific la același institut.

Adeseori lacurile pe bază de rășini epoxidice se folosesc pentru impregnarea înfășurărilor unor aparate sau utilaje care sînt destinate să funcționeze în climat sever, cum este cel tropical-umed.

Un tip de rășină epoxidică, frecvent utilizată de întreprinderile din țara noastră la impregnarea diferitelor echipamente electrotehnice solicitate climatic, este Araldítul LY 556, cu întăritor HZ 978. Din această cauză este necesar să se execute cercetări în condiții climatice de laborator, caracteristice tipului de protecție TH (STAS 6692—63) [4], pentru a ști în ce măsură acest mod de impregnare rezistă acțiunii căldurii-umede. Încercări similare s-au executat mai înainte cu lac de impregnare C51—M (oleogliptalic modificat cu melamină), curent folosit în industria electrotehnică. Acesta are o durată de polimerizare de 16 ore și o temperatură de coacere mai ridcată (130°C) [5], [6].

Lucrări efectuate

Comportarea rășinii Araldit LY 556, cu întăritor HZ 978, s-a urmărit atît pe bobine și motorete executate la I.C.P.E. și condiționate climatic în laborator sau expuse în microclimate naturale din țara noastră (maritim, subteran, rural), cît și pe produse industriale, condiționate climatic numai în laborator.

Încercări pe bobine și motorete

S-au pregătit următoarele piese pentru experimentări:

— bobine tip VDE 361—Ü din conductor tereftalic Ø 1 mm, impregnate cu rășină epoxidică (notate în diagramă cu *a*);

— bobine tip VDE 361—Ü din conductor tereftalic Ø 1 mm, bandajate cu țesătură de sticlă impregnată și apoi cu rășină epoxidică (notate în diagramă cu *b*);

— motoreta tip AEE 510 din conductor ET, Ø 1 mm, cu izolație de crestătură și între bobine din PHP, pană din sticlotextolit, bandă de înfășurare din țesătură de sticlă impregnată și apoi impregnate în rășină epoxidică.

Tehnologia de impregnare a bobinelor și motoretelor a fost aceea aplicată curent în industrie, în mod schematic constînd din:

— amestecul rășinii cu întăritorul 2:1 (în greutate), viscozitatea amestecului fiind de 18—20 s (cupa VZ4), la 25°C;

— impregnarea sub vid de 80 mm mercur;

— scurgerea lacului patru ore în aer;

— uscarea rășinii patru ore la 100—110°C.

Impregnarea s-a repetat de două ori, iar calitatea acesteia s-a verificat prin măsurarea rezistenței de izolație și a tensiunii de străpungere.

— La impregnarea bobinelor și motoretelor s-a constatat că rășina epoxidică, în condițiile

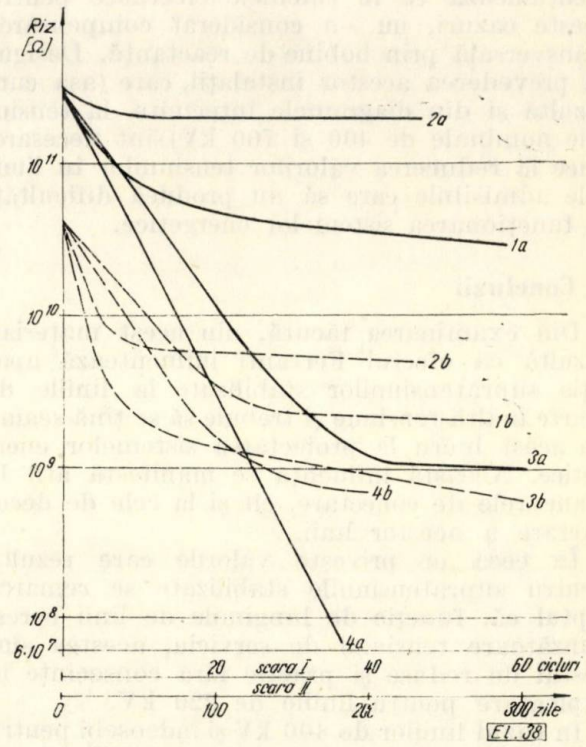


Fig.1. Variația rezistenței de izolație a bobinelor dreptunghiulare în diferite medii de condiționare:

a — bobine nebandajate; *b* — bobine bandajate.

1 — condiționare în mediu cald umed — laborator; *2* — expunere în microclimat rural; *3* — expunere în microclimat maritim; *4* — expunere în microclimat subteran.

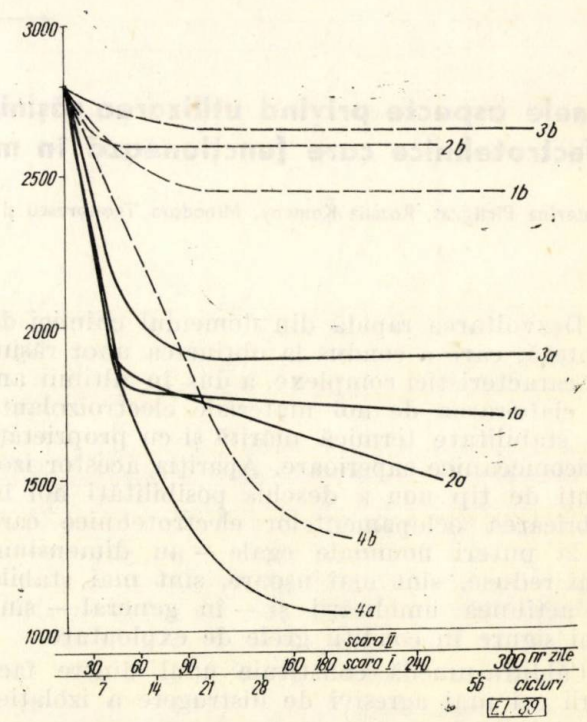


Fig. 2. Variația tensiunii de străpungere la bobinele dreptunghiulare în diferite medii de condiționare:

a — bobine neimpregnate și nebandajate; *b* — bobine inpregnate și bandajate *1* — condiționare în mediu cald umed — laborator; *2* — expunere în microclimat rural; *3* — expunere în microclimat maritim; *4* — expunere în microclimat subteran.

Tabela 1

Comportarea în condiții de laborator și în microclimate naturale a motoarelor impregnate în Araldit L 556

Caracteristici	Condiționarea în laborator (durata în cicluri)							Expunerea în microclimat natural (durata în zile)								
								rural II			maritim II			subteran		
	inițial	7	14	21	28	56	112	60	240	300	90	180	300	90	90	180
Motorete (m)																
Rezistența de izolație, R_i, Ω:																
Între bobine	10.10^{10}	6.10^{10}	8.10^9	$1{,}5.10^9$	$1{,}5.10^9$	$1{,}5.10^9$	1.10^9	$4{,}5.10^{10}$	3.10^{10}	2.10^9	6.10^9	7.10^8	6.10^8	5.10^8	1.10^{6*}	$2\,510^7$
Între spire	$3{,}5.10^{10}$	$2{,}5.10^{10}$	7.10^9	5.10^9	7.10^8	$4{,}2.10^8$	4.10^8	$1{,}5.10^{10}$	2.10^{10}	$1{,}5.10^9$	3.10^9	5.10^8	4.10^8	2.10^8	$0{,}8.10^{6*}$	2.10^7
Între bobine și masă	8.10^{10}	3.10^{10}	4.10^9	4.10^9	4.10^8	4.10^8	4.10^8	3.10^{10}	2.10^{10}	2.10^9	6.10^9	5.10^8	3.10^8	3.10^7	1.10^{6*}	1.10^6
Tensiunea de străpungere E_v, V:																
Între bobine	7 500	7 000	6 200	5 950	5 600	3 600	3 300	6 500	5 300	—	6 350	7 500	7 500	3 000	—	3 000
Între spire	5 000	4 900	4 900	4 400	3 000	2 800	2 500	6 450	5 500	—	3 750	4 500	4 000	2 000	—	1 500
Între bobine și masă	7 000	6 200	5 800	5 380	4 800	4 300	3 800	6 000	5 800	—	7 000	7 000	7 000	2 700	—	2 200

* Măsurătorile s-au executat în subteran la Baia Sprie; celelalte valori s-au măsurat în laborator, după 24 ore de la scoaterea din mină, motoretele fiind păstrate în pungi de polietilenă.

de lucru arătate, pătrunde în măsură suficentă în interiorul înfășurărilor.

— Aderența rășinii a fost satisfăcătoate atît pe conductoarele de bobinaj emailate cu lac tereftalic, cît și pe materiale electroizolante existente în sistem și care trebuiau să fie protejate.

Bobinele și motoretele s-au supus, în condiții de laborator, acțiunii clădurii-umede (regim ciclic), conform STAS 6745—63, punctul 4.2 și s-au expus în stațiile I.C.P.E. din microclimatele naturale; rural, maritim și subteran.

Microclimatul rural este caracterizat prin lipsa unei agresivități deosebite, constituind un etalon pentru celelalte condiții de expunere. Microclimatul maritim este caracterizat, în primul rînd, prin agresivitatea aerosolilor salini; în microclimatul subteran, prin temperatură de 35—40°C, umiditate relativă de 95—98% și aciditate puternică (pH de 3—5). Expunerile în microclimatele rural și maritim s-au făcut în încăperi cu jaluzele, iar în mină, direct în galerie.

Rezultatele obținute în condițiile de lucru arătate sînt cuprinse în figurile 1 și 2 pentru bobine, iar pentru motorete în tabela 1.

Analizînd rezultatele, se constată că:

— bandajarea și impregnarea bobinelor îmbunătățește tensiunea de străpungere între spire, comparativ cu aceea determinată la bobinele care sînt numai impregnate. Faptul se explică, în parte, prin specificul rășinii utilizate pentru impregnare (Araldit LY 556 și întăritor HZ 978), care se poate folosi atît pentru impregnarea țesăturilor de sticlă, cît și pentru impregnări de bobinaje.

— în ceea ce privește influența căldurii-umede se observă formarea și menținerea unui palier, la valori corespunzătoare ale parametrilor urmăriți, atît la bobine, cît și la motorete, ceea ce arată că această rășină se poate folosi la impregnarea utilajului electrotehnic tropicalizat. Faptul că în mină valorile parametrilor scad mult mai accentuat decît în mediul de căldură-umedă din laborator se explică prin agresivitatea foarte mare a mediului subteran în care se află stația I.C.P.E.

Încercări pe produse industriale

Posibilitatea utilizării rășinii epoxidice la impregnarea înfășurărilor s-a verificat și pe produse industriale executate în construcții tropicalizate. Astfel s-au verificat amplificatorul magnetic de la tablourile de comandă tip TC 500 și TC 350, transformatorul TMA, reactanța tip RAS—125, transformatorul lămpii cu transformator 220/24 V. Toate înfășurările acestor subansambluri au fost impregnate în aceeași rășină, ca și bobinele și motoretele.

Elementele intrate în construcția înfășurărilor acestor produse sînt: conductor de cupru emailat cu email tereftalic, suport de sticlotextolit și bandă din țesătură de sticlă. În cazul transformatorului de la lampa cu transformator, carcasa bobinei este executată din bachelită ETHM.

Subansamblurile amintite s-au condiționat numai în laborator, conform STAS 6745—63, pct. 4.2, timp de 21 de cicluri. Imediat după scoaterea din mediul de condiționare s-a determinat rezistența de izolație a căilor de curent alăturate și între aceasta și masă. În continuare, după cel mult 10—15 minute de la scoaterea din mediul de condiționare, s-a verificat izolația dintre căile de curent și dintre acestea și masă, prin aplicarea timp de un minut a tensiunii de 2000 V_{ef} — 50 Hz.

Tabela 2

Variaţia rezistenţei de izolaţie în mediu cald-umed a înfăşurărilor de la subansamblurile produselor industriale, impregnate în răşină epoxidică

Nr. crt.	Denumirea produsului	Punctele între care s-au efectuat măsurătorile	Rezistenţa de izolaţie, MΩ			
			durata de condiţionare, cicluri			
			iniţial	4	7	21
1	Amplificator magnetic de la tabloul de comandă TC 500	$A_1 - A_2$ $B_1 - B_2$ $C_1 - C_2$	1000 1200 1100	5 8 7	5 7 5	3 4 3
2	Amplificator magnetic de la tabloul de comandă TC 350	$A_1 - A_2$ $B_1 - B_2$ $C_1 - C_2$	1000 1000 1000	500 450 500	180 170 200	190 170 190
3	Reactanţă tip RAS–125	$Ax - Bx$ $Ax - Cz$ $Bx - Cz$ ABC masă	500 500 500 500	400 400 450 450	400 400 400 450	400 350 400 350
4	Transformator TMA 0,063 kVA	Între înfăşurarea primară şi masă (ecranul dintre înfăşurare fiind pus la masă) Între înfăşurarea secundară şi masă (ecranul dintre înfăşurare fiind pus la masă)	500 500	500 500	400 400	350 350
5	Lampă cu transformator 220/24	Între înfăşurarea de 220 V şi cea de 24 V Între înfăşurarea primară şi masă Între înfăşurarea secundară şi masă	2000 2000 2000	— — —	8000 8000 2000	3000 1400 2000

Toate aparatele astfel încercate au avut o comportare bună. În tabela 2 se reprezintă variaţia rezistenţei de izolaţie.

Concluzii

Rezultatele obţinute la încercările climatice pe bobine, motorete şi produse au arătat că răşina epoxidică se poate utiliza la impregnarea înfăşurărilor din echipamentul electric care funcţionează în căldură-umedă, asigurînd o protecţie bună faţă de agresivitatea acestui mediu climatic.

La aceasta se adaugă avantajul că tehnologia de impregnare cu răşină epoxidică permite scurtarea timpului de uscare şi coacere de circa patru ori, iar temperatura de polimerizare poate fi redusă cu 25°C, comparativ cu tehnologia de impregnare în lac °C 51 — M, frecvent utilizat în industria electrotehnică din ţara noastră. Menţionăm însă că, din cauza tendinţei de contradicţie a răşinii epoxidice experimentate de noi (Araldit LY 556 cu întăritor HZ 978), acest mod de impregnare este limitat de gabaritul înfăşurării (este recomandabil ca lungimea acesteia să nu depăşească 300 mm).

Bibliografie

[1] *Fröndl, D.* Hochwertige Motorentränkung und Lacküberzüge. (Impregnarea şi acoperirea cu lacuri a motoarelor greu solicitate). In : Elektrie, nr. 4, 1967, p. 146—149.

[2] *Janik, V.* Zusohe impregnace a povachové upravy vintuti (Metodele de impregnare şi de prelucrare exterioară a înfăşurărilor). In : Electrotechnik **20**, nr. 6, 1965, p. 158—162.

[3] *Scheffold, E.* Werkstoffkunde în Elektromaschinenbau (Noutăţi privind materialele din construcţia maşinilor electrice). In : Die elektrische Maschine **44**, nr. 4, 1965, p. 99—106.

[4] * * * Protecţia climatică. Tipurile de protecţie climatică. STAS 6692.

[5] * * * Protecţia climatică a materialelor metalice cu caracter electrotehnic şi neelectrotehnic. Referat I.C.P.E. Problema B49, Cd. 19. 362, 1965.

[6] * * * Protecţia climatică a materialelor nemetalice electrotehnice şi neelectrotehnice. Referat I.C.P.E. Problema B52, Cd. 19.174, 1966.

Intrat în redacţie la 11. VIII. 1968

Contaminarea izolatoarelor de înaltă tensiune. Metode de încercare

Theodor Vascan şi Mircea Andreescu * — Bucureşti

CZ 621.315.624.027.8.004.64

Un aspect important al exploatării sistemelor electroenergetice îl constituie diminuarea calităţilor izolante ale izolaţiei de exterior, ca urmare a contaminării ei cu depuneri din atmosferă, de origine naturală, sau industrială. Importanţa şi actualitatea problemei rezultă din faptul că o dată cu crearea unor puternice centre industriale, creşte în general şi gradul de contaminare şi — dacă nu sînt luate măsuri corespunzătoare — creşte şi probabilitatea apariţiei avariilor. Scăderea tensiunii de conturnare a unei izolaţii contaminate este atît de însemnată [1], încît simpla mărire a numărului izolatoarelor din lanţ nu poate soluţiona problema. Se impune adoptarea unui ansamblu de măsuri pornind de la cunoaşterea comportării fiecărui tip de izolator la contaminare, a gradului şi naturii contaminării.

Contaminarea izolaţiei şi efectele negative pe care le are aceasta prezintă cîteva particularităţi agravante :

— Deranjamentele datorite contaminării apar în zonele producătorilor şi consumatorilor importanţi : uzine chimice, siderurgice, metalurgice, centrale termice cu cărbune. În ţara noastră s-au semnalat deranjamente din cauza contaminării în zonele Combinatului chimic-Borzeşti, Fabrica de ciment-Tîrnăveni, Fabrica de ciment-Valea Călugărească [2].

— O dată cu creşterea tensiunii de transport, deci cu importanţa sistemului, în timp ce frecvenţa avariilor produse de supratensiunile atmosferice scade, cea datorită contaminării creşte.

— Staţiile şi substaţiile cumulează majoritatea avariilor. În acelaşi timp însă, distrugerea izolaţiei la coloanele separatoarelor, bornele transformatoarelor, întreruptoarelor, carcasele transformatoarelor de măsură, provoacă avarii costisitoare şi de durată relativ mare.

Aceste particularităţi măresc interesul pentru cercetările legate de rezolvarea problemelor puse de contaminarea izolaţiei.

1. Stadiul cercetărilor — Rezultate

Încă de mulţi ani, în ţările industriale a apărut şi apoi s-a extins şi ramificat continuu, o activitate complexă, cuprinzînd cercetarea mecanismului conturnării sub strat străin, obţinerea de noi tipuri de izolatoare rezistente la contaminare, stabilirea criteriilor de alegere a izolaţiei pentru regiuni contaminate, punerea la punct a unor metode de încercare specifice acestui fel de solicitări, elaborarea de măsuri cu caracter profilactic în exloatare etc.

Centre de cercetare în acest domeniu, avînd o bază materială importantă, au fost create la institute de cercetări (CERL — Anglia, SfH — R.F.G.), la fabrici de izolatoare (CGEC — Franţa, CERABEL — Belgia, SS — R.F.G. NGK Insulators — Japonia) sau aparţin exploatării (EdF — Franţa, IBE — Belgia, ENEL — Italia, BPA, EHV-Test Center — U.S.A.) *.

În cadrul Comitetului de studii, nr. 5, CIGRÉ a fost constituit un grup permanent de lucru care întreprinde cercetări coordonate, în trei laboratoare din Anglia, Franţa şi Italia, în scopul punerii la punct a unei metode de încercare şi a verificării reproductibilităţii rezultatelor. În paralel, exploatarea a intensificat măsurările asupra izolatoarelor expuse în regiuni contaminate, în staţii special amenajate şi dotate cu aparatură de înregistrare a parametrilor electrici şi meteorologici.

Din cele publicate pînă în prezent rezultă următoarele :

— A fost elucidată conturnarea sub strat străin din punct de vedere fenomenologic. Modelarea matematică a procesului de conturnare a fost realizată numai pentru forme simple de izolator şi cu ipoteze simplificatoare, care fac rezultatele obţinute încă neutilizabile în practică.

— S-au cristalizat două metode de încercare artificială : cu strat granular, pentru zone de contaminare industrială şi cu ceaţă salină, pentru contaminare de tip electrolitic, ultima fiind experimentată mai mult şi oferind condiţii de reproductibilitate mai bune.

În ceea ce priveşte CEI [3], prin Comitetul tehnic 28, face propuneri privind modul de contaminare, aprecierea severităţii, compararea cu gradul de contaminare din natură etc.

Pe linie de standardizare, în două ţări au apărut norme cu caracter intern : VDE 0448/1.63 [4] în R.F.G. şi GOST 10390—63 [5] în U.R.S.S.

În ţara noastră problema a fost abordată întîi la Institutul de energetică al Academiei

* Ing. *T. Vascan* este cercetător principal la I.C.P.E., ar ing. *M. Andreescu*, cercetător principal la I.C.E.

* CERL : Central Electricity Research Laboratories Leatherhead ; SfH : Studiengeselleschaft für Höchstspannungsanlagen-Ruit ; CGEC : Compagnie Générale d'Électrocéramique ; CERABEL : Societé Belge de Céramique ; SS : Siemens-Schuckertwerke — Schaltwerk Berlin ;NGK : Nippon Gaishi Kaisha ; EdF : Électricité de France ; IBE : Societé Intercommunale Belge d'Électricité ; ENEL : Ente Nazionale per l'Energia Elettrica ; BPA : Boneville Power Administration ; EHV : Extra High Voltage.

[6] în 1962, apoi la I.R.M.E. [2], iar în 1965 la I.C.P.E., unde s-a urmărit experimentarea unei metode care să permită încercarea în laborator a izolatoarelor, în condiții de contaminare controlabilă.

2. Aspecte ale contaminării izolației

2.1. Tipul și gradul de contaminare. Se pot deosebi două tipuri de contaminare : *granulară*, constînd din depunerea unui strat de particule care în majoritatea cazurilor devin conductoare în stare umezită și *electrolitică*, în care caz se formează un film lichid conductor, de exemplu, soluții de acizi rezultați din combinația diferitelor gaze (NO_2, SO_2, Cl) cu umezeala din aer în prezența unor catalizatori, sau soluții saline. În tabela 1 sînt arătate cîteva exemple de compoziții ale unor surse de contaminare artificială și naturală.

Tabela 1

Compoziția chimică a unor mostre de contaminare

Loc recoltare	Stație încercări Gosnay [7]	Stația Matra [8]	Stația exp. Inst. Energ. Acad. R.S.R.[6]
Sursa	CET 100 MW cocserie spălătorie de mină	Matra CET 130 MW	Contaminare marină
Compoziția	33,40 funingine 42,00 % SiO_2 2,5 SiO_3 0,73 CaO + MgO 0,57 % Na_2O 0,14 % K_2O 7,66 % Fe_2O_3 12 % Al_2O_3	57 % SiO 12 % Fe_2O_3 19 % Al_2O_3 7 % CO_3 3,5 % MgO 1,5 % SO_3	14,2 mg/l Cl 61 „ CO_3H 13,7 „ SO_4 26 „ Na 1,9 „ K 10,7 „ Ca 36,6 mg SiO_2 18 „ Oxizi Fe 1,5 „ CaO 1,1 „ MgO

Gradul de severitate al contaminării se apreciază după conductivitatea unei soluții apoase convenționale a materialului depus, cît și după cantitatea materialului depus (mg/m²) și aderența sa. În tabela 2 sînt date exemple de contaminare de diferite grade de severitate, iar în tabela 3, lungimea liniei specifice de fugă, recomandată în cîteva țări.

2.2. Factori care influențează contaminarea. Există multipli factori care concură la realizarea unui anumit grad de contaminare. Astfel, *curenții de aer* transportă și depun particule pe suprafața izolatorului, în funcție de calitățile aerodinamice ale acestuia. O dată depuse, acumularea particulelor este favorizată sau nu, după *gradul lor de aderență*. Printre cele mai aderente se numără amestecurile de baze, oxizi de fier, cimentul, funinginea, praful de carbid. În sfîrșit, modul de umidificare intervine determinant la realizarea conductivității. Agenții de umidificare lentă, cum sînt ceața (0,01—1 g apă/m³), roua, burnița, gheața în perioada de topire, au o acțiune

Tabela 2

Depuneri și emanații de gaze

Țara	Locul de recoltare	Depunerea sau emanația	Cantitatea
R.P.U.[9]	Centrala Matra	cenușă	15 g/m²/h
R.S.R. [2], [6]	Stația 110/35 kV Hunedoara	pulbere de minereu	1000...1200 g/m²/an
	Valea Jiului (Vulcan)	praf cărbune SO_2	4000 g/m²/an 6 mg/m³/an
	Stația 110/35 kV Reșița	praf cărbune SO_2	3000...5000 g/m²/an 7,2 mg/m³/an
	Stația 110/35 kV Borzești	clor	0,4...0,6 mg/m³/24 h
	Litoral Marea Neagră	sare	0,19...0,248 mg/cm²
Japonia [10]	Golf Tokio	sare	0,1...0,2 mg/cm²/taifun
Italia [11]	Coasta Ligurică	sare	0,24...0,48 mg/cm²/an
Anglia [12]	Regiuni greu contaminate	cenușă	100...240 g/m²/an
R.F.G. [13]	Ruhr	pulbere, cărbune, oxizi metalici	100...200 g/m²/lună
	Regiunea Rheno-Westphalică	pulberi	25 g/m²/lună
	Hanovra	potasă ciment	40...70 g/m²/lună
Franța [14]	Regiune industrială	pulberi	20...30 g/m²/lună
U.R.S.S. [15]	Lîngă uzine combinate	praf de cărbune, cenușă	cîteva zeci de mg/cm² (pe izolator)

de spălare aproape nulă, în schimb, produc o creștere progresivă și suficient de lentă a conconductivității pentru a crea toate premisele unei conturnări.

3. Conturnarea izolatoarelor contaminate

3.1. Mecanismul conturnării. Fenomenele care au loc la conturnarea unui izolator contaminat au fost elucidate prin lucrări teoretice [15] și studii experimentale pe modele simplificate sau reale [18], [19]. Mecanismul conturnării ar avea următoarele faze.

Formarea peliculei electrolitice. Umidificarea stratului depus pe suprafața izolatorului duce la formarea unei pelicule electrolitice, a cărei conductivitate este în funcție de conținutul de substanțe solubile conducătoare. Apare acum un curent de fugă sensibil mai mare (de ordinul mA) față de cel care se

Tabela 3

Lungimea liniei de fugă în funcţie de gradul de contaminare

Ţara	Categoria de izolaţie	Caracteristica contaminării	Linia de fugă specifică, cm/kV	
R.F.G. [13]	a	atmosferă curată (regiune agricolă)	1,7...2	
	b	contaminare slabă (zonă periferică industrială)	2,2...2,5	
	c	contaminare puternică (Ruhr, Köln, Mannheim)	2,6...3,2	
	d	contaminare foarte puternică	⩾3,8	
S.U.A. Anglia [16]	I	zonă industrială normală	1,7	
	II	Zonă industrială cu contaminare puternică	2,54	
U.R.S.S. [17]	0	atmosferă curată	neutru direct la pămînt 110...500 kV	neutru izolat 3...35 kV
			1,2	1,2
	I	regiune industrială în afara intervalului de protecţie	instalaţii de distribuţie	
			1,5	1,7
			linii	
			1,3	1,7
	II	regiune industrială la 0,5 interval de protecţie	2,25	2,5
	III	regiune industrială sub 0,5 interval de protecţie	3	3,5

scurge pe suprafaţa izolatorului uscat (de ordinul μA). Repartiţia tensiunii pe izolator este dictată de căderea de tensiune produsă de curentul de fugă pe rezistenţa superficială a izolatorului, iar nu de capacităţile proprii şi cele faţă de pămînt şi linie.

Apariţia zonelor uscate şi a arcurilor parţiale. Prin efect Joule curentul de fugă tinde să usuce pelicula lichidă conducătoare în mod neuniform, şi anume mai puternic în regiunile unde densitatea curentului este mai mare datorită atît variaţiei diametrului izolatorului, cît şi neuniformităţii depunerii şi umezirii stratului străin, producînd în aceste locuri zone uscate. Repartiţia tensiunii se modifică din nou, devenind puternic neuniformă, zonele uscate fiind solicitate de o tensiune sporită. Dacă gradientul de tensiune în aceste locuri depăşeşte o anumită valoare, se amorsează o descărcare parţială. Aceasta şuntează zona uscată care contribuia substanţial la rezistenţa superficială totală a izolatorului şi ca urmare curentul de fugă înregistrează un salt brusc, de ordinul zecilor sau sutelor de mA.

Evoluţia descărcărilor parţiale, conturnarea. Curentul prin arcurile parţiale amorsate este limitat de rezistenţele serie ale zonelor umede de pe izolator. Acestea au o conductibilitate mai mare sau mai mică, în funcţie de cantitatea şi natura substanţelor şi de bilanţul termic din acel moment de pe izolator (raportul dintre umiditatea recuperată prin agentul de umidificare şi cea pierdută, datorită încălzirii produsă de curentul de fugă). În această fază, arcurile parţiale se sting sau se extind. S-a demonstrat, cu anumite ipoteze simplificatoare, că valoarea maximă a curentului care poate trece pe suprafaţa unui izolator contaminat şi umezit, la care conturnarea nu este probabilă, este dat de relaţia (20):

$$i_{max} = 233\, E_c^{-1,31}, \text{ A},$$

unde E_c este solicitarea specifică medie, V_{max}/cm.

Dacă gradientul de tensiune pe suprafaţa umedă este mai mare decît cel din coloana arcului, picioarele arcului migrează, extinzîndu-se în dauna peliculei electrod. Aceasta este solicitată acum cu un gradient de tensiune sporit, care peste o anumită limită duce la conturnarea ei şi la conturnarea totală a izolatorului.

3.2. Factori care influenţează tensiunea de conturnare. Stratul străin, acţionează prin conţinutul de substanţe solubile bune conducătoare, prin capacitatea de absorbţie şi reţinere a apei şi prin modul de repartizare pe suprafaţa izolatorului. De altfel, curba tensiunii de conturnare, funcţie de conductivitatea stratului, privită ca rezultat al higroscopicităţii şi conţinutului de substanţe care produc ioni, reprezintă caracteristica conturnării sub strat străin (la contaminarea granulară).

Parametrii geometrici ai izolatorului, caracterizaţi prin linia de fugă şi forma izolatorului, au faţă de cazul solicitărilor în medii curate, o importanţă sporită. Un raport mare între linia de fugă şi lungimea constructivă a izolatorului este avantajos, dar există limite impuse în general de asigurarea unor bune proprietăţi autocurăţitoare, iar la izolatoarele capă-tijă, de pericolul străpungerii la impuls. La tipul bară plină forma izolatorului este definită prin factorul de formă f cu atît mai avantajos, cu cît are o valoare mai mare (cu limitările de mai sus):

$$f = \frac{1}{\pi}\int_0^S \frac{ds}{D_{(s)}},$$

unde S este lungimea căii de conturnare şi $D_{(s)}$ este diametrul izolatorului în secţiunea considerată.

3. 3. Solicitări electrice. Conturnarea sub strat străin nu are un caracter de şoc ca străpungerea în aer, ci se desfăşoară într-un timp, în care o cantitate de energie electrică se transformă în căldură. Intervalul de timp pînă la conturnare este cu atît mai mic, cu cît tensiunea aplicată şi conductivitatea stratului străin sînt mai mari. Deci solicitările electrice care afectează izolatoarele contaminate trebuie analizate din punctul de vedere al amplitudinii şi duratei lor.

Tensiunea maximă de serviciu pe fază (U_y) este cea mai importantă solicitare pentru izolatoarele contaminate şi se ia ca solicitare de bază la majoritatea metodelor de încercare.

Supratensiunile de frecvenţă industrială, provocate de defectele la pămînt, declanşarea bruscă a unei sarcini importante sau de ambele cauze simultan, sînt periculoase pentru izolatoarele greu contaminate, mai ales dintr-un sistem cu neutrul pus indirect la pămînt, din cauza duratei lor relativ mari.

Supratensiunile tranzitorii de manevră provocate de schimbările brusce în configuraţia reţelei, cu toate valorile mari pe care le ating la deconectarea cu reamorsări a curenţilor capacitivi sau la deconectarea în momente diferite de trecerea naturală prin zero a curenţilor slabi inductivi, nu afectează diferit — după unii autori [21] — izolatoarele contaminate, faţă de cele curate, din cauza duratei lor mici, care nu permite amorsarea mecanismului conturnării sub strat străin. Potrivit însă unor lucrări recente [22], din experimentări, a rezultat că, de exemplu, la o undă de 33/2 000 μs, contaminarea reduce cu 50% valoarea tensiunii de conturnare faţă de aceeaşi încercare pe izolatoare curate.

Supratensiunile tranzitorii de origine atmosferică, a căror amplitudine este limitată pe linii la tensiunea de conturnare la impuls a izolatoarelor, iar în posturi la nivelul de protecţie al descărcătoarelor, au durate atît de mici, încît nu afectează izolatoarele contaminate mai mult decît pe cele curate.

În tabela 4 se arată schematic amplitudinea şi durata solicitărilor amintite. Acestea pot fi corelate cu curbele *tensiune de conturnare-timp* a izolatoarelor contaminate pentru a stabili care solicitări afectează un izolator dat, cu o contaminare dată.

Tabela 4

Supratensiuni, amplitudine, durată

Tipul supratensiunii		Valoarea supratensiunii: neutrul direct la pămînt	Valoarea supratensiunii: neutrul indirect la pămînt	Durata
De frecvenţă industrială	defecte la pămînt	1,4 Uy	1,9 Uy	$3...10^3$s
	scăderea bruscă a sarcinii, plus defecte la pămînt	1,6 Uy	2,2 Uy	3s
Tranzitorii de manevră		$(2,5...3)\sqrt{2}$Uy	$(3...3,5)\sqrt{2}$Uy	0,3...3 ms
Tranzitorii de origine atmosferică	linii	tensiunea de conturnare la impuls a izolatoarelor		10...100 μs
	posturi	nivelul de protecţie al descărcătoarelor		

4. Prevenirea şi combaterea efectelor contaminării

Pentru menţinerea unei izolaţii eficiente în condiţii de impurificare s-au elaborat numeroase mijloace şi metode, printre care mai cunoscute sînt următoarele :

Elaborarea de noi tipuri de izolatoare. S-au realizat izolatoare cu o bună comportare la contaminare, care au primit de pe acum o opţiune din partea exploatării (izolatoarele de linie capă anticeaţă cu o mare parte a liniei de fugă protejată, izolatoare bară plină antimurdărire. Alte multe tipuri constituie încercări mai mult sau mai puţin reuşite : izolatoare *spirelec*, cu aripă elicoidală care îi conferă o bună autocurăţare la ploaie [23], izolatoare cu profil aerodinamic etc.

Glazurile semiconductoare, avînd o rezistenţă de circa 1 MΩ/kV, permit circulaţia unui curent suficient pentru a dicta o repartiţie uniformă a tensiunii. Izolatoarele de acest tip, la acelaşi grad de contaminare, au o tensiune de ţinere cu 50% mai bună decît izolatoarele obişnuite. Neräspîndirea pe scară largă a acestei soluţii este cauzată de faptul că atît primele emailuri semiconductoare utilizate, cît şi cele mai recente (magnetită, ferită de bariu etc.), au o stabilitate redusă la coroziune electrolitică şi un coeficient negativ al rezistivităţii cu temperatura.

Întărirea izolaţiei se aplică îndeosebi la linii, prin mărirea numărului de izolatoare în lanţ, degresiv dinspre zona contaminată. Procedeul este neeconomic pentru tensiuni foarte înalte, deoarece tensiunea de conturnare nu creşte proporţional cu numărul izolatoarelor (la o mărire a lanţului cu 30%, tensiunea de conturnare creşte cu 18% [14]).

Schimbarea poziţiei lanţurilor de la verticală la orizontală, acolo unde este posibil îmbunătăţeşte comportarea izolatoarelor datorită autocurăţării mai bune şi întinderii avantajoase a arcului electric.

Spălarea izolatoarelor, sub tensiune, cu instalaţii fixe sau cu jeturi, la o presiune a apei de circa 7 kgf/cm² şi cu o rezistivitate

de 2 000—5 000 Ω cm [24], sau în lipsa tensiunii, cu apă, soluție de acid sulfuric, trifosfat de sodiu etc., constituie un mijloc de combatere a contaminării de o deosebită eficacitate, mai ales în stații. Momentul spălării se determină prin observații, sau automat la depășirea unui nivel al curentului de fugă de circa 100 mA.

Ungerea suprafeței izolatoarelor îmbunătățește ținerea la contaminare datorită hidrofobicității unsorilor, prin care se împiedică formarea unei pelicule lichide continue pe suprafața izolatoarelor și efectului amoebic de înglobare și izolare a particulelor solide. Printre cele mai cunoscute unsori sînt compoundurile siliconice, care se pot utiliza într-un larg domeniu de temperatură (—70°C . . . + 1200°C), dar sînt scumpe, și gelurile pe bază de petrol cu un preț mult mai redus. Aplicarea unsorilor se face manual prin pulverizare (solvent, tetraclorură de carbon), sau imersiune. Curățarea se face manual, prin ștergere cu solvenți sau detergenți, cu abur sub presiune, sau în incinte cu vapori de tricloretilenă. Grosimea optimă a stratului, apreciată în trecut pentru compoundurile siliconice la 0,1—0,2 mm și la gelurile de petrol la circa 1 mm, este considerată astăzi prea mică, recomandîndu-se grosimi de 1 mm și, respectiv, de 3—5 mm [24].

5. Metode de investigare a comportării izolatoarelor contaminate

Încercarea sub ploaie artificială, actualmente utilizată pentru determinarea tensiunii de ținere la 50 Hz a izolației de exterior, nu dă informații reale asupra comportării acestei izolații în condiții grele de exploatare. De altfel, în discuțiile din cadrul CEI [3], se exprimă opinia că ea nu reprezintă condițiile actuale de funcționare a izolației, ci oferă numai un criteriu de comparare. Tensiunea de conturnare sub ploaie arti-

Tabela 5

Stații de încercare la contaminare naturală

Stația	Tipul contaminării	Tensiunea de încercare	Criteriul de apreciere	Sursa de înaltă tensiune	Aparatura de măsură	
					electrică	meteo
Anneberg [26] ASEA (Suedia)	marină	175 kVc.a. ±600 kV c.c	curent fugă conturnare	sistem	contoare impuls miliampermetre	—
Croydon [27] CERL (Anglia)	industrială 76 t/mila²/lună	85 kV c.a. 175 kV c.a. 230 kV c.a. 115 kV c.c.	curent fugă i > 150 mA nr. conturnări	Trafo 250 kV	contoare impuls oscilograf baleiaj mecanic	—
Brighton [28] CERL (Anglia	marină	85 kV	curent fugă i > 150 mA nr. conturnări	sistem 132 kV	contoare impuls	—
Recklinghausen VEW (R.F.G.) [29]	industrială (cărbune + oxizi metalici) 200 mg/m²/lună	70 kV	curent fugă	sistem 110 kV	amplific. log. cu 12 canale, oscilo-script cu 12 canale	barograf termograf hidrograf anemograf
Gosnay [7] EDF (Franța)	industrială (cenușă) ρ = 320 Ω cm	56 kV	curent fugă nr . conturnări	trafo 56 kV 110 kVa	amplific. log. mA înregistrator	aparat etalon ceață higrometru
Prototip [30] EDF (Franța	diverse	120 kV	tensiunea de conturnare	trafo 30 kV 50 kVA trafo 120 kV 5kVA	înregistrator cu bandă perforată pentru tensiune	înregistrator cu potențiometri aserviți pentru toți parametrii
Trivieres [31] UGBE (Belgia)	industrială (cărbune)	85 kV	nr. conturnări	sistem 150 kV	—	—
Obourg [31] (Belgia)	industrială (ciment)	40 kV 70 kV	curent fugă (i > 60 mA)	trafo 70 kV 1000 kVA	—	—
Litoral Marea Neagră (Inst. Energ. Acad. R.S.R.) [6]	marină	6/ $\sqrt{3}$ kV 15/ $\sqrt{3}$ kV 35/ $\sqrt{3}$ kV	curent fugă	trafo 35 kV 100 kVA	amplific. log. mA înregistrator	—
Borzești [2] IRME (R.S.R.)	industrială chimică	20kV	curent fugă	sistem 35kV	mA înregistrator	—

Tabela 6

Staţii şi metode de încercare la contaminarea artificială

Staţii de încercare la contaminare artificială	Agent contaminare	Solicitarea electrică	Tehnica încercării	Criteriu de apreciere	Instalaţii tehnologie incintă	Sursa de înaltă tensiune	Aparatură de măsură	
							Parametri electrici	Parametri tehnologici
SIEMENS (R.F.G.) [32]	suspensie din 100 g Kieselgur 1...35 g NaCl 15 gr dextrină 1000 g H_2O	tensiune constantă aplicată stratului străin umidificat la saturaţie	— degresare — încălzire la 60 ... 80°C — imersionare suspensie, de 2000... 40000 μs cm^{-1} — uscare — răcire la circa 0°C — umezire prin condensare de vapori — aplicare tensiune	curba stratului de impurităţi limită pentru o tensiune dată	— generator de abur — frigorifer — instalaţie imersionare, uscare — incintă climatizată 200 m^3, H = 7	— generator 500 kVA; 5kV — trafo 333 kV; 666 kVA	oscilograf cu bucle	termohigrograf instalaţie pentru menţinerea automată a unei climatizări date a incintei
SfH (R.F.G.) [33]	suspensie din 100 g Kieselgur 1...35 g NaCl 15 g dextrină 1000 g H_2O	tensiune constantă aplicată stratului străin uscat	— degresare — încălzire — pulverizare — uscare — aplicare tensiune — umezire prin înceţoşare „directă"	curba stratului de impurităţi limită pentru o tensiune dată	— instalaţie automată de pulverizare — instalaţie de produs ceaţă	—	— amplificator logaritmic — oscilograf cu bucle	— manometre — debitmetre
CGEC (Franţa) [34]	praf 750 g/h caolin ceaţă din soluţie NaCl 31,6 g/l cu debitul 16 l/h	tensiune constantă 63 kV	— degresare — aplicare tensiune — prăfuire 3h — înceţoşare 3 h — spălare 5 min — uscare 15 h	număr de cicluri pînă la conturnare	— instalaţie prăfuire — instalaţie ceaţă — instalaţie ploaie artificială incintă 3,6×4—3,5 m	trafo 63 kV 50 kVA	— contoare impuls amplificator şi înregistrator curent fugă disp. măsură repartiţie potenţial	instalaţie electrică de control a ceţii
EDF (Franţa) [35]	ceaţă din soluţie de CO_3Na debit 3 cm^3/dm^2 ρ = 200 Ω cm	tensiune constantă $\frac{1{,}2\ U_n}{\sqrt{3}}$ aplicată 3 min	— degresare — pulverizare ceaţă — aplicare tensiune	rezistivitatea minimă a soluţiei la care este suportată tensiunea de încercare 3 min	— instalaţie ceaţă	—	—	aparat măsură debit şi rezistivitate ceaţă
CERL (Anglia [28]	ceaţă din soluţie de NaCl concentraţie 0,25...16% debit 0,5 l/min pulverizator	tensiune constantă $\frac{U_n}{\sqrt{3}}$ aplicată 60 min	— degresare — uscare — pulverizare concomitentă cu aplicarea tensiunii	— salinitatea maximă de ţinere 60 min la $\frac{U_n}{\sqrt{3}}$, la 3 din 4 încercări	— instalaţie ceaţă salină — incintă 35×40—48 ft	3 trafo în paralel a 250 kV; 250 kVA	contoare impuls	— higrometru — Peltier — dispozitiv etalon ceaţă — conductometru

Lab. Takeyama Lab. NGK (Japonia) [36]	soluție NaCl 20...50 g/l + caolin 40 g/l	tensiunea de conturnare aplicată în 30 s	— degresare — stropire cu soluție de contaminare — stabilizare 3 min — se aplică tensiunea progresiv pînă la conturnare	curba tensiunii de conturnare funcție de media depozitului contaminat	incintă : Lab. Takeyama $12\times14-15$ m Lab. NGK $10\times15-13$ m	Lab. Takeyama gen $Pk = 1250$ MVA/fază trafo 600 kV Lab. NGK gen $Pk = 30$ MVA/fază trafo 500 kV	înregistrator temperatură și umiditate
Lab. BPA (S.U.A.) [37]	suspensie ciment 20 pound în 6 galloni apă și ceață (debit) 2 lb/m²	tensiunea critică de ținere 5 min după 10 conturnări	— degresare — imersionare suspensie ciment — uscare 12h — începoșare 30 min — aplicarea tensiunii (2,5 kV/s) pînă la conturnare; 10 probe — stabilirea tensiunii de ținere 5 min	tensiunea de ținere 5 min	— instalație ceață — instalație impurificare prin imersiune — incintă D = 20 ft H = 26 ft	—	megohmetru înregistrator oscilograf cu citire directă

ficială este numai cu puțin mai mică față de cea în stare uscată. Spălarea izolatoarelor ca mijloc de combatere a contaminării constituie o dovadă că încercarea sub ploaie artificială nu este o încercare pe măsura solicitărilor din exploatare. Pentru cunoașterea posibilităților reale ale izolației de exterior, această probă trebuie completată cu încercări specifice de contaminare, care în principiu trebuie să răspundă următoarelor cerințe :

— Reproducerea condițiilor de contaminare din exploatare, în ceea ce au ele esențial.

— Aplicarea asupra izolatorului de încercat a solicitărilor electrice reprezentative pentru contaminare.

— Adoptarea unui criteriu de apreciere util practicii.

— Reproductibilitatea rezultatelor în condiții de experimentare acceptabile.

Încercările de contaminare elaborate pînă acum sînt de trei tipuri : naturale, artificiale și combinate.

5. 1. Încercarea la contaminare naturală se practică pe izolatoare supuse la tensiunea de serviciu, într-o stație, substație sau linie. Măsurările se fac pe o perioadă de timp de ordinul anilor, asupra amplitudinii și frecvenței impulsurilor curentului de fugă și numărului conturnărilor, corelate cu date meteorologice. Metoda prezintă avantajele fidelității contaminării și a punerii în evidență a posibilităților de autocurățare a izolatoarelor și dezavantaje legate de timpul foarte mare necesar pentru experimentarea unui tip de izolator, imposibilitatea separării influenței factorilor care concură la contaminare și a extrapolării rezultatelor la alte regiuni. Unele din stațiile de contaminare naturală mai cunoscute cu sursele și aparatura de care dispun sînt indicate în tabela 5.

5. 2. Încercarea la contaminare artificială se execută pe izolatoare contaminate în laborator, supuse la o anumită solicitare electrică. Acest tip de probe oferă operativitatea necesară elaborării unui nou tip izolator pe bază de rezultate comparative și permite departajarea influenței factorilor care concură în procesul conturnării, toate acestea în condiții de reproductibilitate mai bună față de încercările naturale. Are inconvenientul că nu reproduce contaminarea din exploatare ca rezultat al acțiunii de impurificare și autocurățare. Se disting două grupe de încercări artificiale :

a) Încercări cu strat granular, format dintr-o pulbere neutră (caolin, kieselgur, ciment), capabile să absoarbă și să rețină apa, în amestec cu o sare ($NaCl$, CO_3Na) care îi conferă o anumită conductibilitate și care este apoi umidificat la saturare.

b) Încercări fără strat granular, în care se creează o peliculă electrolitică pe suprafața izolatorului, prin aspersare cu soluție salină, umidificarea fiind simultană cu impurificarea. Caracteristicile metodelor și instalațiilor pentru aplicarea lor sînt arătate în tabela 6.

5. 3. Încercarea la contaminare combinată constă în umidificarea cu ceață a stratului străin de pe izolatoarele real contaminate în exploatare, pînă la obținerea stării de saturație a stratului sub o tensiune constantă și egală cu $U_n/\sqrt{3}$. Dacă nu se produce conturnarea pînă la atingerea stării de conductibilitate maximă a stratului umezit, se crește tensiunea pînă la conturnare. Ceața se realizează dintr-o soluție cu conductibilitatea egală cu a apei condensate din ceața naturală existentă în regiunea de recoltare a izolatoarelor [13]. Se elimină astfel principalele dezavantaje ale metodelor artificiale și naturale, și anume impurificarea subiectivă și, respectiv timpul lung pînă la apariția condițiilor critice. O dată cu stratul străin recoltat dintr-un anumit loc, este preluat însă și dezavantajul imposibilității generalizării concluziilor pentru alte regiuni.

6. Metoda de încercare experimentată la I.C.P.E.

S-a ales pentru experimentare o metodă fără strat granular, cunoscută sub denumirea de *metoda ceții saline*. Ea a fost dezvoltată atît în Franța la EdF, cît și în Anglia la CERL [28]. Recent, în cadrul Comitetului de studii, nr. 5, CIGRÉ, a fost experimentată metoda pe aceleași tipuri de izolatoare, concomitent în trei laboratoare ale organismelor Central Electricity Generating Board, Electricité de France și Ente Nazionale per l'Energia Elettrica, rezultatele obținute indicînd posibilități de reproductibilitate acceptabile.

6. 1. Caracteristicile metodei : agent de contaminare — ceața salină produsă prin pulverizarea unei soluții saline cu concentrația 0,1 — 16%, la un debit de 0,5 l/min pentru fiecare pulverizator cu aer comprimat la 7 at; gradul de impurificare — concentrația soluției exprimată în grame NaCl/l soluție sau în salinitate procentuală ; solicitarea electrică — tensiune constantă $U_n/\sqrt{3}$ aplicată progresiv înainte de umidificarea izolatorului ; durata probei — 60 min sau pînă la conturnare ; criteriul de apreciere — salinitatea maximă a ceții la care izolatorul nu conturnează la trei din patru încercări.

6. 2. Tehnica încercării, așa cum se practică în prezent la I. C. P. E., este următoarea :

a) Se degresează și se curață izolatorul pe rînd cu acetonă, carbonat de sodiu și apă curată.

b) Se usucă, fără înclăzire. După unele lucrări recente (38] această operație nu ar fi necesară. Experiențele făcute la I. C. P. E. au arătat că pelicula de apă rămasă după spălare diluează mult soluția salină formată din ceața de încercare, falsificînd rezultatele.

c) Izolatorul se instalează în poziția din exploatare, izolat față de masă pentru a capta curentul de fugă și respectînd distanțele minime normalizate față de obiectele puse la masă.

d) Se aplică tensiunea progresiv și se menține constantă pe toată durata probei la valoarea $U_n/\sqrt{3}$.

e) Înceţoşarea se face punînd în funcțiune întîi duzele de aer comprimat, iar cînd presiunea ajunge la 7 at, se alimentează progresiv duzele de soluție salină.

f) Începutul probei este marcat de intrarea în funcțiune a duzelor de soluție, iar sfîrșitul după 60 min sau după conturnarea probei.

g) În timpul probei se înregistrează continuu curentul de fugă, ca amplitudine și număr al impulsurilor, se măsoară rezistivitatea, temperatura și debitul soluției saline, presiunea aerului

6. 3. Limita de valabilitate a metodei. Metoda aleasă reproduce solicitările care apar la contaminarea chimică și marină, fapt acceptat unanim în prezent. În privința reproducerii contaminării de tip granular, valabilitatea ei rămîne de dovedit. Stratul pulverulent care nu este realizat la metoda ceții saline, joacă un rol important mai ales prin capacitatea sa de a reține apa, care influențează evoluția bilanțului termic de pe suprafața izolatorului. Se presupune că rolul acesta poate fi suplinit prin reglarea corespunzătoare a debitului ceții. Urmează ca această echivalență să fie confirmată prin experimentări pe aceleași izolatoare, în aceleași laboratoare prin cele două metode, cu și fără strat granular

7. Instalația realizată

Instalațiile necesare pentru încercările la contaminare, indiferent de metoda practicată sînt complicate și costisitoare atît ca parte tehnologică, cît și de înaltă tensiune și de măsură, comparativ cu încercările clasice la 50 Hz.

7. 1. Instalația tehnologică servește la producerea și pulverizarea ceții saline și funcționează conform schemei din figura 1. Sarea este dizolvată în rezervorul *A* la o concentrație de 16%,

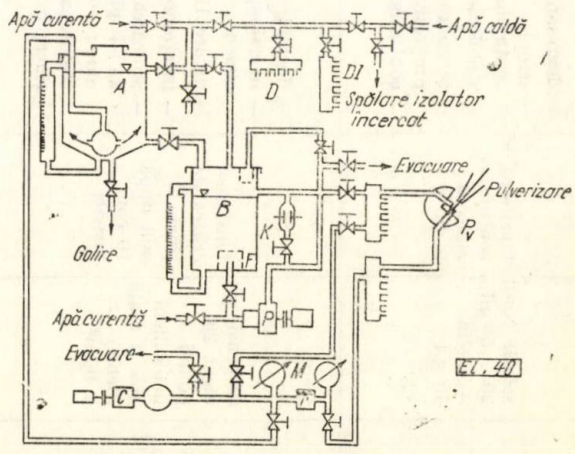


Fig. 1. Schema tehnologică de producere a ceții saline :
A — rezervor de apă salină, concentrație 16% ; *B* — cuvă de prepararea soluției la concentrația de încercare ; *K* — celulă Kohlrausch ; P_v — pulverizator ; *C* — compresor ; *P* — pompă de circulație a soluției ; *F* — filtre ; *M* — manometre ; *r* — reductor de presiune ; *DI* — dispozitiv de curățarea izolatorului de trecere ; *D* — dispozitiv de spălare a geamului.

prin barbotare cu aer comprimat la 2 at. Pentru prepararea soluției la salinitatea de încercare se folosește o cuvă de formare B, unde se introduce soluție concentrată din A și apă curată. Soluția este amestecată în circuit închis, măsurată în flux cu o celulă Kochlrausch K și pompată în pulverizatorul P_v, unde cu ajutorul aerului comprimat la 7 at, produs de compresorul C, este pulverizată spre izolatorul de încercat. Rezervoarele, ventilele și conductele pentru soluția salină sînt din material plastic, iar pompa P de tip anticorosiv.

Camera de ceață în care este încercat izolatorul este o încăpere de construcție specială,

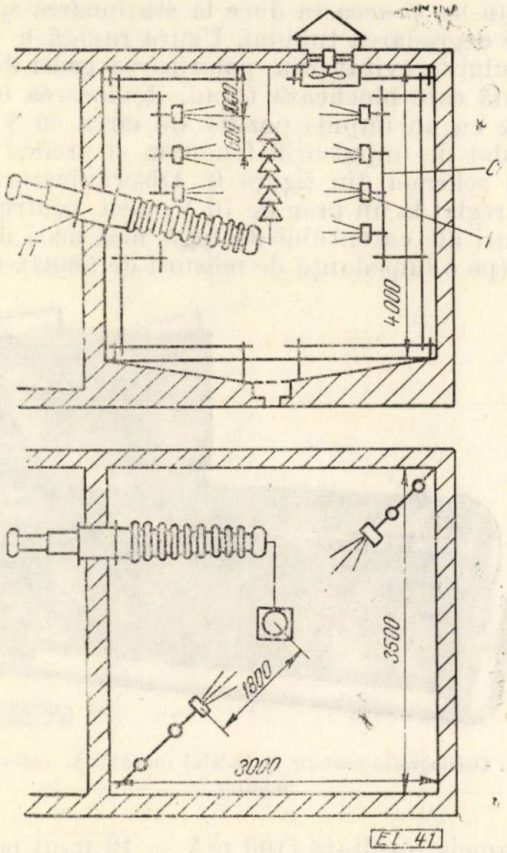


Fig. 2. Amplasarea coloanelor de pulverizatoare în camera de ceață :
CP – coloane cu pulverizatoare; P – pulverizatoare; IT – izolator de trecere.

rezistentă la mediu corosiv. S-a folosit pentru pereți faianța acoperită cu grunduri și lacuri epoxidice. Camera are ventilație forțată permițînd evacuarea ceții în 5 min. Pulverizatoarele sînt plasate pe stelaje din oțel inoxidabil, permițînd o dispoziție convenabilă față de obiectul de încercat (fig. 2). Pentru izolatoarele de 110 kV s-au utilizat două coloane cu pulverizatoare CP paralele și în același plan cu axa izolatorului încercat și la o distanță de 2 m, de o parte și de alta a lui. Pe fiecare coloană sînt montate independent și reglabil patru pulverizatoare P, distanțate la 0,6 m unul de altul.

Pulverizatoarele (fig. 3) au două duze : una din oțel inoxidabil pentru aer comprimat și alta din plexiglas pentru soluție salină. Dimensiunile și poziția lor relativă sînt arătate în figura 4.

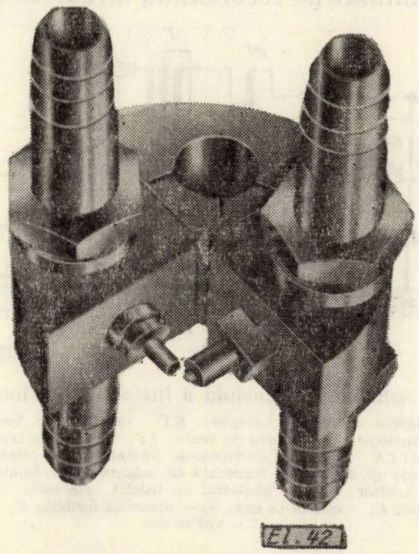


Fig. 3. Pulverizator.

Izolatorul de trecere prin care este conectat izolatorul încercat, la sursa de înaltă tensiune, este de construcție specială, realizat în colaborare cu Electroceramica-Turda și destinat să suporte condiții grele de contaminare (lungimea liniei de fugă pe partea contaminată este de 4 100 mm).

7. 2. Instalația de înaltă tensiune. Sursa de înaltă tensiune, circuitele de comandă, protecție și măsură sînt arătate, în principiu, în schema din figura 5.

Transformatorul de înaltă tensiune T (760/100/100 000 V; 30 kVA) alimentat prin regulatorul de tensiune RT (380/0–760 V; 30 kVA), pune sub tensiune izolatorul de încercat II din camera de ceață C. Izolatorul încercat nu este conectat direct la pămînt, ci prin intermediul a două izolatoare IP. Protecția transformatorului

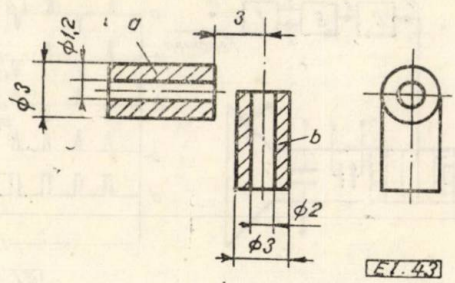


Fig. 4. Schema pulverizatorului :
a – duză pentru aer comprimat 7 at; b – duză pentru soluție salină cu debit 0,5 l/min.

la scurtcircuit este realizată prin releul maximal de curent RM și printr-un dispozitiv electronic de limitare LE. Protejarea transformatorului este necesară, deoarece nu are rezistențe limita-

toare în primar sau secundar, așa cum se obișnuiește la încercările curente la 50 Hz, pentru a nu limita curentul de scurtcircuit disponibil și așa mic în comparație cu cerințele încercării la contaminare (se recomandă un curent de scurt-

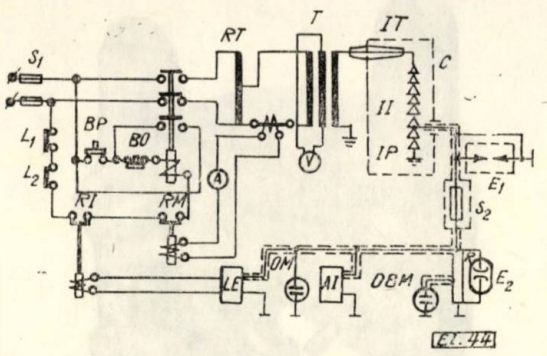


Fig. 5. Schema de principiu a instalației de încercare :
T — transformator de înaltă tensiune; RT — regulator de tensiune; II — izolatorul de încercat; C — camera de ceață; IT — izolator de trecere; RM — releu maximal; LE — dispozitiv electronic de limitare; RI — releu intermediar; L_1, L_2 — blocaje uși acces; R — rezistența de măsură a curentului de fugă; OM — osciloscraf monitor; OBM — oscilograf cu baleiaj mecanic; AI — analizor de amplitudine; E_2 — eclator cu gaz; S_2 — siguranță fuzibilă; E_1 — eclator vîrf — vîrf în aer.

circuit pe partea de înaltă tensiune de cel puțin 10 A [38]). Stația va fi dotată în viitor cu un transformator de 100 kV; 300 kVA, care este în construcție.

7. 3. Aparatura de măsură și control. Pentru obținerea unei imagini cuprinzătoare asupra fenomenelor care au loc la conturnarea izolatoarelor contaminate, au fost create aparate destinate să numere, să măsoare și să înregistreze impulsurile curentului de fugă. Pentru captarea și măsura curentului de fugă a fost adoptată o schemă simplă [7]. După cum se observă în figura 5, curentul de fugă este adus la o rezistență R, de pe care căderea de tensiune este transmisă oscilografelor OM, OBM analizorului de amplitudine AI și dispozitivului electronic de limitare LE. Protejarea circuitului de măsură se realizează selectiv : cînd amplitudinea curentului de fugă depășește o anu-

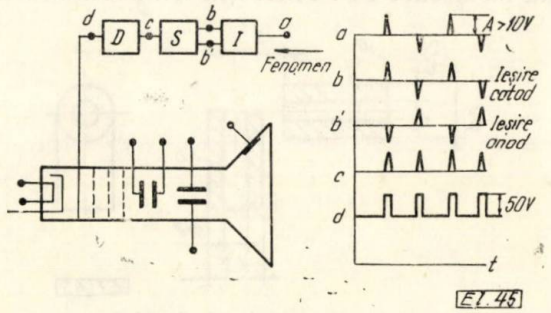


Fig. 6. Schema-bloc a oscilografului cu baleiaj mecanic.

mită valoare, amorsează eclatorul cu gaz E_2, limitînd tensiunea în instalația de măsură. În același timp, curentul de scurgere provoacă arderea siguranței S_2, crește tensiunea la eclatorul E care la 1 000 V amorsează evitînd distrugerea eclatorului cu gaz. Dacă nu s-a produs conturnarea izolatorului (curent de 50 Hz), ci numai un impuls de curent mai mare, siguranța nu se topește și proba continuă.

În cele ce urmează se descrie pe scurt aparatura electronică creată pentru aceste încercări.

a) Oscilograful catodic cu baleiaj mecanic, realizat cu tubul B 10—S2, are ca particularități viteza mică de înregistrare (0,84 rot/min, rezultînd o oscilogramă de 240 mm în 60 min) și deblocarea spotului comandată de fenomen. Semnalul de lucru este compus din impulsuri care se succed aleatoriu, la intervale de timp mari în comparație cu durata lor și aceasta duce la staționarea spotului și degradarea tubului. Uzura rapidă a cinescopului s-a evitat prin polarizarea grilei de comandă care blochează tubul, deblocarea făcîndu-se cu un impuls pozitiv de circa 50 V, comandat de impulsurile fenomen și produs conform schemei din figura 6. Discriminatorul D este reglat la un prag de 10 V, deci pentru impulsuri ale curentului de fugă mai mari de 20 mA (pe o impedanță de măsură de 500Ω). Osci-

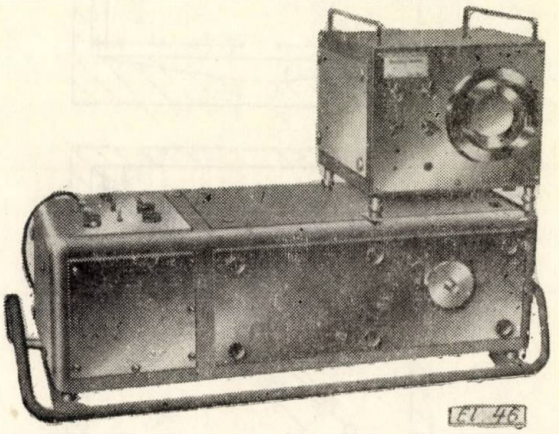


Fig. 7. Oscilograful catodic cu baleiaj mecanic și osciloscopul monitor.

logramele rezultate (100 mA = 12 mm) permit numărarea și măsurarea impulsurilor care depășesc 100 mA, deci care încep să devină importante pentru conturnare. Totalitatea impulsurilor variază în timp, oarecum specific fiecărui tip de murdărire și de izolator, studiul înfășurătorii lor aducînd noi indicii despre comportarea izolatorului.

Folosirea de miliampermetre înregistratoare, soluție mai simplă, nu dă rezultate satisfăcătoare deoarece fiind dispozitive mecanice cu inerție mare, funcționează balistic sub o excitație primită și aceasta face ca un impuls înregistrat astfel, să poată fi în realitate un tren de impulsuri mici, sau un impuls singular mai mare.

În figura 7 este arătat oscilograful cu baleiaj mecanic și osciloscopul monitor. Acesta din urmă, realizat pe baza tubului B 10—S1, are de asemenea deblocarea spotului comandată de

fenomen şi permite observarea şi măsurarea impulsurilor curentului de fugă, chiar în timpul probei.

b) Analizorul integral de amplitudine serveşte la analiza cantitativă a fenomenelor de descărcare ce preced conturnarea izolatorului şi permite numărarea pe patru canale a impulsurilor, a căror amplitudine depăşeşte pragurile de ± 14 mA, ±25 mA, ± ± 50 mA, ± 130 mA. Într-o primă variantă s-a folosit pentru numărare şi afişare un aparat cu numărătoare electromecanice SB—1M. La încercările din anul 1967 s-a constatat funcţionarea defectuoasă a acestora, din cauza solicitării la limita superioară a capacităţii lor de numărare (100 impulsuri/s) şi a duratei de viaţă scurte. În 1968 a fost realizat un analizor integral de amplitudine cu decatroane, tip Z 562 S. Schema-bloc a analizorului şi a dispozitivului electronic de limitare este dată în figura 8.

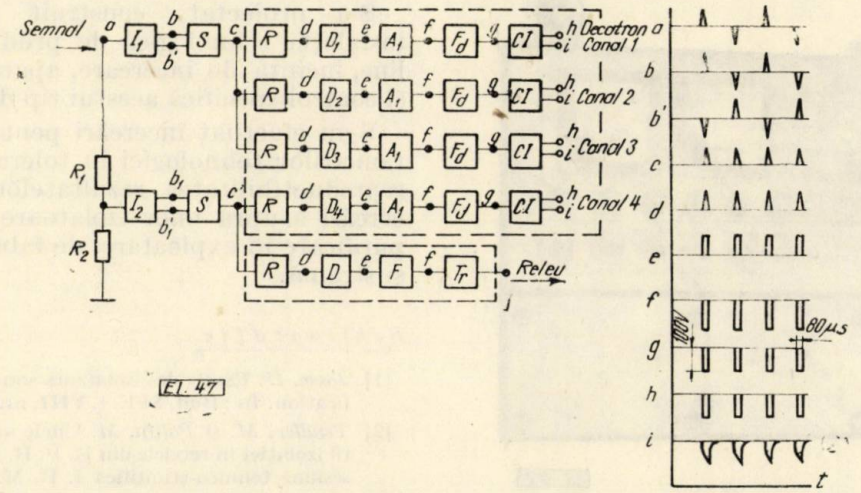


Fig. 8. Schema-bloc a analizorului de amplitudine şi a dispozitivului electronic de limitare :
R_1 R_2 – divizor de tensiune; I_1, I_2 – inversoare; S – etaje de însumare; $D_1 \cdots D_4$ – discriminatoare; R – repetoare catodice; A_1 – amplificatoare; F_d – etaje de formare; CI – circuite de întîrziere; T_r – tiratron.

Semnalul de măsurat este aplicat prin borna *a* inversorului I_1, utilizat pentru canalele *1*, *2*, şi *3*, iar prin divizorul $R_1 - R_2$ la inversorul I_2 utilizat pentru canalul *4* şi dispozitivul electronic de limitare. Cele două ieşiri ale inversorului, şi anume : *b* din catod, în fază cu semnalul aplicat în *a* şi *b'* din anod, în antifază cu semnalul aplicat în *a*, se aplică la intrarea etajului de însumare *S*, la ieşirea căruia se regăsesc impulsurile aplicate la borna *a*, însă numai cu polaritate pozitivă şi amplitudine cu 20% mai mică. În felul acesta discriminatoarele de amplitudine D_1, D_2, D_3, D_4, care răspund numai la impulsuri de polaritate pozitivă, vor fi declanşate de toate impulsurile de intrare, indiferent de polaritate, dacă acestea au amplitudinea mai mare decît nivelul la care a fost reglat discriminatorul. Pentru evitarea influenţelor reciproce între canale, semnalul care apare la intrarea etajului *S*, s-a aplicat la fiecare discriminator prin repetoare catodice *R*. Impulsurile pozitive care apar la ieşirea etajului de discriminare *e* sînt amplificate de A_1 (*f*) şi aplicate la etajul de formare F_d [39]. Astfel formate *g* cu o amplitudine de 100 V polaritate negativă şi cu o durată de 80 μs, sînt transformate în impulsuri duble negative cu ajutorul circuitului de întîrziere *CI* şi aplicate prin *h* şi *i* decatroanelor. Pentru a realiza o capacitate de numărare de 999 999 impulsuri, la fiecare canal s-au folosit

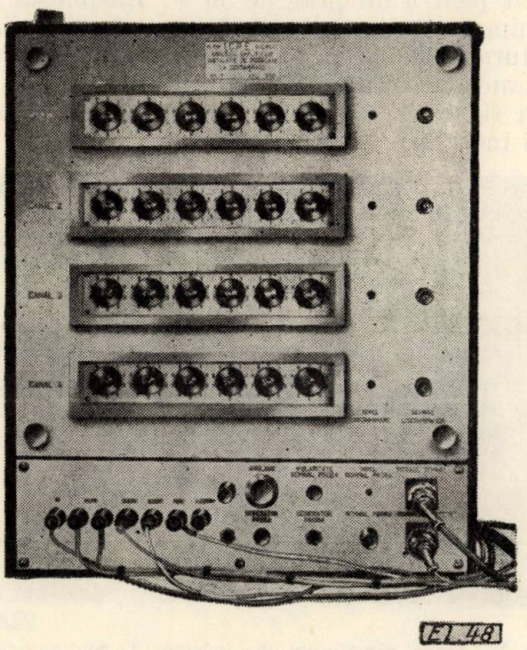


Fig. 9. Analizorul de amplitudine.

cîte şase decatroane, cuplate între ele prin etaje de amplificare [40]. Analizorul de amplitudine este arătat în figura 9.

c) Dispozitivul electronic de limitare (fig. 10), are ca acțiune finală comanda unui tiratron prin care se declanșează un releu din circuitul de alimentare a transformatorului de înaltă tensiune, atunci cînd apare un semnal, pe partea de înaltă tensiune, cu amplitudinea mai mare de $\pm$ 1 A. Semnalul pentru comanda dispozitivului de limitare se obține în același mod ca la analizorul de amplitudine. Semnalul compus din impulsuri unipolare care apare în c' (fig. 8) se transmite prin repetorul catodic R la discriminatorul de amplitudine D, reglat pentru un prag de 50 V. Răspunsul discriminatorului este transformat în impulsuri de durată de 500 μs formate în etajul F, pentru comanda tiratronului TQ1/2.

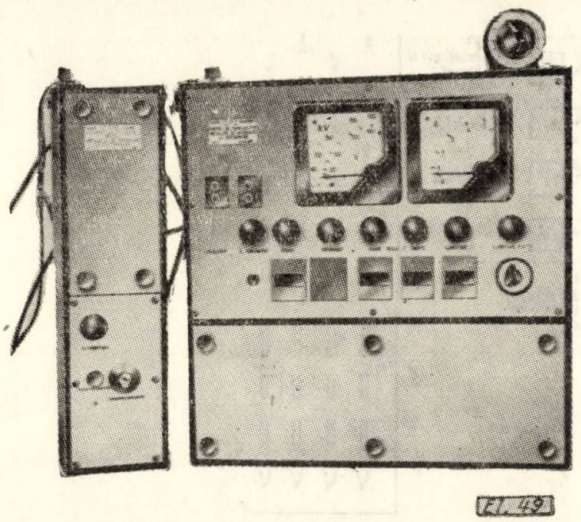


Fig. 10. Dispozitivul electronic de limitare și panoul de comandă.

În figura 11 se arată un aspect din timpul unei încercări.

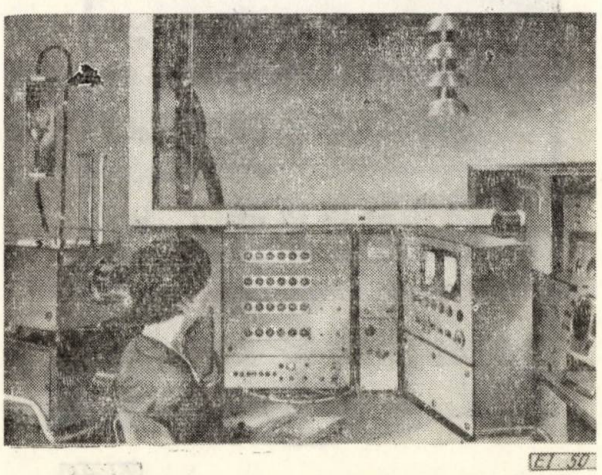


Fig. 11. Aspect din timpul unei încercări la contaminare.

8. Conluzii

Pentru cunoașterea comportării izolatoarelor de înaltă tensiune în stare contaminată, pentru elaborarea și verificarea rapidă a unor noi tipuri de izolatoare și mijloace de combatere a efectelor contaminării s-au elaborat metode artificiale de laborator.

La I. C. P. E. s-a adoptat o metodă fără strat granular, metoda ceții saline, a cărei instalație permite și încercări pe izolatoare contaminate în exploatare, prin aplicarea metodei combinate.

S-a proiectat, construit și experimentat instalația tehnologică de producere a ceții saline, incinta de încercare, aparatura de măsură și control specifică acestui tip de încercări.

S-au efectuat încercări pentru realizarea parametrilor tehnologici în toleranțe care asigură reproductibilitatea rezultatelor, precum și încercări asupra unor izolatoare curate, sau impurificate în exploatare, de fabricație autohtonă și străină.

Bibliografie

[1] *Josse, H.* Essais des isolateurs sous pollution et humidification. În : Bull. SFE, t. **VIII**, nr. 92, 1958, p.517—524.

[2] *Tendler, M.* și *Paltin. M.* Unele aspecte ale contaminării izolației în rețelele din R. P. R. Comunicare la a III-a sesiune tehnico-științifică I. R. M. E., București, 1965.

[3] CEI, **42** (Secretariat) 13 mai 1965. Proposed amendaments to Publication 60 (1962), High-voltage test-technique.

[4] VDE 0448/1. 63. Vorläufige Richtlinien für die Untersuchung von Freiluft-Isolatoren für Anlagen mit Wechselspannungen über 1 kV unter Fremdschichteinfluss. Berlin, VDE-Verlag, GmbH, 1963.

[5] GOST 10390—65. Metodi sravnitelinih ispitanii na elektriceskuiu procinosti vneșnei isoliații v usloviah zagriaznenia.

[6] *Adămuț, I.* și *Petcu, M.* Rezultate privind măsurarea curenților de conducție la izolatoare contaminate în condiții naturale. În : Studii și cercetări de energetică, t. **14**, nr. 3, 1964, p. 579—593.

[7]. *Gaillet, B.* Étude expérimental „in situ" de la tenue diélectrique superficielle, sous la tension de service normal, de chaines d'isolateurs soumises à la pollution atmosphérique. În : Bull. SFE, t. **VIII**, nr. 93, 1958, p. 574—586.

[8] *Ignacz, P.* Erfahrungen mit Silikonfett als Schutz gegen Fremdschicht-überschläge an Isolatoren. În : Elektrizitätswirtschaft, nr. 2, 1963, p. 29—36.

[9] *Geszti, P. O.* ș. a. Expériences concernant la détérioration de l'isolation due à la pollution atmosphérique. Rap. 204, CIGRÉ, t. **II**, 1960.

[10] *Yamazaki, K.* și *Mita, N.* Mesures contre la pollution saline des isolateurs dans les réseaux de transport à très haute tension au voisinage et le long des côtes marines. Rap. 412, CIGRE, t. **III**, 1958.

[11] *Sala, G.* și *Squintani, L.* Note sul comportamento degli isolatori elettrici in vicinanza del mare. În : L'Elettrotecnica, nr. 8, 1964, p. 616—617.

[12] B. S. 3297—1960. Specification for high-voltage post insulators.

[13] *Baatz, H.* ș. a. Expérience récente d'exploitation des isolateurs pollués et méthodes d'essais permettant d'évaluer leur pouvoir isolant. Rap. 212, CIGRE, 1964.

[14] *Leroy, G.* Problèmes posés par la pollution des isolateurs et rèmedes mis en oeuvre. În : Bull. SFE, t. **VIII**, nr. 92, 1958, p 512—516.

[15] *Korbut, E. V.* ș. a. Issledovanie razriadnih haracteristic zagrianennih izoliatorov. În : Elektricestvo, nr. 3, 1962, p. 76—81.

[16] *Gloyer, H.* și *Vogelsang, Th.* Freiluftisolation in Verschnutzungsgebieten. În : Elektrotech. Z. (ETZ — A)**78**, H 7, 1957, p. 252—257.

[17] O normativah proiectirovaniu vneșnei izoliații otkrîtîh raspredelitelinîh ustroistv i linii elektroperedaci 3—500 kV peremennovo toka u raionah s promîșlennîmi zagriazneniami. În : Elektriceskie Stanții, nr. 11, 1964, p. 85—86.
[18] *Hampton, B. F.* Flashower mechanism of polluted insulation. În : Proc. IEE, vol. **III**, nr. 5, 1964, p. 985—990.
[19] *Obenaus, F.* Kriechüberschlag von Isolatoren mit Fremdschichten. În : Elektrizitätwirtschaft, vol. **59**. H.24, 1960, p. 878 —882.
[20] *Alston, L. L.* și *Zoledziowski, S.* Growth of discharges on polluted insulation. În : Proc. IEE, vol. **110**, nr. 7, 1963, p. 1 260—1 264.
[21] *Kron, H.* von și *Dorsch*, H. Détermination de l'isolement des réseaux de transport par rapport aux surtensions à la fréquence de service et aux surtensions transitoires, compte tenu de la diminution du pouvoir isolant dûe à des couches étrangères superficielles. Rap. 402, CIGRÉ, t. **III**, 1958.
[22] *Ely, C. H. A.* și *Roberts, W. J.* Flashoer of polluted H. V. insulators under switching surges. În : Proc. IEE, vol. **115**, nr. 3, 1968, p. 443.
[23] *Gion, L.* și *Meier, H.* Nouveaux isolateurs à ailette hélïcoidale pour lignes et appareillage haute tension. Rap. 208, CIGRÉ, t. **II** 1960.
[24] *Pinet, R.* Mesures prise pour éviter les amorçages dus à la pollution des isolateurs sur les ouvrages de transport d'énergie. În : Rev. Gén. Elect., t. **76**, nr. 2, 1967, p. 186—200.
[25] *Gillam, G. H.* Rapport sur l'activité du Comité d'Études nr. 5 (isolateurs). Rap. 211, CIGRÉ, t. **11**, 1962.
[26] *Knudsen, N.* și *Hermansson, L.* Essais à long et à court terme d'isolateurs pollués. Rap. 25—02, CIGRÉ, 1968 (în discuție).
[27] *Forest, J. S.* Research on the performance of high-voltage insulators in polluted atmospheres. În : Proc. IEE, part. A, vol. **107**, nr. 32, apr 1960, p. 172—196.
[28] *Ely, C.* și *Lambeth, P. T.* Artificial-pollution test for highvoltage outdoor insulators. În : Proc. IEE, vol, **111**, nr. 5, 1964, p. 991—998.
[29] *Reverey, G.* și *Stolte, E.* Essais d'isolateurs dans des conditions naturelles de pollution. Rap. 210, CIGRÉ, t. **II**, 1960.
[30] *Poyart, R.* și *Frohly, L.* Instalation d'essais d'isolateurs sous pollution naturelle. În : Bull SFE, t. **VIII**, nr. 93, 1958, p. 603—607.
[31] *Grégoire, C.* Comportement des isolateurs de lignes et d'appareillage en pollution naturelle et artificielle. Expériences belges. Rap. 211, CIGRÉ, t. **II**, 1964.
[32] *Kron, H.* von. Das isolatoren-Prüffeld im Schaltwerk Berlin der Siemens-Schuckertwerke. În : Siemens Zeitschrift **31**, nr. 7, 1957, p. 343—350.
[33] *Reverey, G.* Hochspannungsisolatoren unter Fremdschichteinfluss. În : Elektrizitätwirtschaft **58**, H. 2, 1959, p. 41—47.
[34] *Gion, L.* și *Meier, H.* Méthode d'essai de pollution artificielle permettant l'étude de propriétés d'auto-nettoyage des isolateurs haute tension. În : Bull ASE **56**, nr. 5, 1965, p. 155—158.
[35] *Leroy, G.* Mise au point de la méthode indirecte d'essai proposée par M. Josse. Justification de modalités d'exécution adoptées. În : Bull. SFE, t. **VIII**, nr. 93, 1958, p. 600—602.
[36] *Tagaki, T.* ș. a. Caracteristiques de contournement des grands isolateurs destinés aus postes à 500 kV soumis à la pollution. Rap. 25—03, CIRGÉ, 1968, (în discuție).
[37] *Merle, G. P.* ș. a. BPA's extra high voltage DC tests. I-Contaminated insulators. În : IEEE, Trans. Power App. and Syst., vol. **86**, nr. 10, oct. 1967, p. 1 146—1 152.
[38] *Lambeth, P. J.* ș. a. Méthode d'essai d'isolateurs sous brouillard salin artificiel. Rap. 25—08, CIGRÉ, 1968, (în discuție).
[39] *Müller, W.* Elektronisches Digital-Zählgerät mit der Dekadenzählröhren Z 572 S. În : Radio und Fernsehen, nr. 5, 1966, p. 156.
[40] *Häussler, E.* Die Kaltkatoden-Dekadenzähl Röhre Z 565 C. În : Radio und Fernsehen, nr. 4, 1967, p. 104—105.

Intrat în redacție la 9. VIII 1968

Precizări cu privire la proiectarea și construcția liniilor de întîrziere magnetostrictive

Tudor Niculescu și Marga Simonescu* — București

CZ 621.372.43.001.2:538.652

Linia de întîrziere magnetostrictivă reprezintă în ansamblul ei un sistem electromecanic, adică o formă particulară de cuplaj între un element mecanic (bara sau tubul care vibrează) și un element electric (circuitul oscilant). Elementul activ al acestui sistem îl joacă traductorul, care permite transferul energiei electrice în energie mecanică și invers.

Viteza foarte mică de propagare în bară a oscilațiilor elastice ($v = 5\ 000$ m/s), în comparație cu aceea a oscilațiilor electrice ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s), permite obținerea semnalului electric aplicat la intrare cu o întîrziere foarte mare. Metoda este simplă și net superioară prin performanțele realizate, față de liniile de întîrziere clasice LC.

Judecînd după domeniile în care și-a găsit deja aplicarea : mașini electronice de calcul, telecomandă, contoare electrice, aparatură de măsură și control cu ultrasunete, această problemă poate interesa un cerc larg de specialiști.

Pe această linie, cel puțin în străinătate, se constată o intensă activitate teoretică și practică în care sînt antrenați numeroși fizicieni, chimiști, ingineri și tehnicieni.

În continuare, lucrarea își propune să abordeze unele probleme privind determinarea parametrilor de bază ce caracterizează liniile de întîrziere magnetostrictive și să prezinte unele rezultate obținute experimental.

Ing. *T. Niculescu* și *ing. M. Simonescu* lucrează în cadrul A. M. G.

1. Parametrii de bază ai liniei de întîrziere magnetostrictive

1. 4. Efectul magnetostrictiv

O bară dintr-un material feromagnetic, situată într-un cîmp magnetic alternativ, se lungește sau se scurtează sub acțiunea cîmpului,

independent de sensul acestuia și depinzînd doar de mărimea lui și de natura materialului barei. Acest fenomen se numește efect magnetostrictiv (sau uneori efect Joule, după numele celui care l-a observat prima dată). Efectul este reversibil; lungirea sau scurtarea unei bare dintr-un material feromagnetic duce la formarea unui cîmp magnetic în spațiul înconjurător. Acest cîmp poate fi pus în evidență prin forța electromotoare, care poate fi indusă într-o înfășurare ce înconjoară bara.

Efectul se explică prin acțiunea de orientare a dipolilor elementari, din care se consideră că este format un corp feromagnetic, sub acțiunea unui cîmp exterior. Acești dipoli nu au caracteristici geometrice uniforme în toate direcțiile (nu sînt izotropi), astfel încît orientarea lor duce la o deformare a rețelei cristaline a corpului feromagnetic care, cumulată la scara macroscopică, pe întreaga lungime a barei, duce la deformarea ei.

Făcîndu-se sinteza celor două stări a efectului magnetostrictiv, s-a putut construi un dispozitiv pentru întîrzieri mari ale semnalelor electrice, ca urmare a raportului considerabil dintre viteza de propagare a oscilațiilor electrice ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s) și aceea a oscilațiilor elastice ($v \cong 5 \cdot 10^3$ m/s la nichel):

$$K = \frac{c}{v} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^3} = 6 \cdot 10^4.$$

Pentru ca frecvența oscilațiilor elastice care iau naștere în bară să fie egală cu aceea a oscilațiilor electrice care le-au dat naștere, bara feromagnetică se plasează într-un cîmp magnetic constant. Situația este analogă polarizării în curent continuu cu tensiune constantă sau curent constant a unui tub electronic sau a unui transistor, în regim liniar de funcționare, adică în regim de clasă A. În acest caz, oscilația de la intrarea circuitului se reproduce ca frecvență, la ieșirea sa.

În acest sens se consideră că se poate vorbi de un regim liniar de clasă A și la funcționarea barei magnetostrictive.

1. 2. Ecuațiile traductorului magnetostrictiv, scheme echivalente și analogiile electromecanice necesare în regim de impulsuri

La alcătuirea schemelor echivalente care descriu traductorul magnetostrictiv, se pornește în majoritatea cazurilor de la ecuațiile sale de stare. Ele includ o mărime electrică și una mecanică, drept variabilă independentă, însoțite de cîte o altă mărime electrică, respectiv mecanică, drept variabilă dependentă, în perechi de ecuații simultane exprimate matricial:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_H} & \alpha \\ \alpha & \mu_\sigma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma \\ H \end{pmatrix}; \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} \sigma \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_H & -\beta \\ \beta & \mu_\varepsilon \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon \\ H \end{pmatrix}, \quad (2)$$

unde:

ε este alungirea specifică;
σ — efortul unitar;
E_H — modulul de elasticitate;
H — intensitatea cîmpului magnetic;
B — inducția magnetică.

Indicii arată mărimile care trebuie menținute constante pentru determinarea coeficienților respectivi. Luate în sensul strict al cuvîntului, ecuațiile prezentate sînt valabile numai pentru modificări mici ale mărimilor ε, T, H și B în jurul unui punct de funcționare (în regim liniar de clasă A) și pot fi concepute în sensul acesta ca diferențiale totale:

$$d\varepsilon = \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma}\right) d\sigma + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial H}\right) dH, \text{ unde: } \frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma} = \frac{1}{E_H} \text{ s.a.m.d.} \quad (3)$$

Ecuațiile (1) și (2) caracterizează relațiile statice și nu țin seamă de nici un fel de forțe de inerție.

Efortul unitar (σ) și alungirea specifică (ε) sînt dependente după legea lui Hooke:

$$\sigma = E_H \cdot \varepsilon. \quad (4)$$

După unele simplificări rămîn valabile relațiile invariante de timp:

$$\sigma = -\beta H; \quad (5)$$

$$B = \beta \varepsilon, \quad (6)$$

care stabilesc în mod corespunzător analogia electromecanică necesară pentru descrierea unui traductor magnetostrictiv prin schema sa echivalentă.

Este de remarcat că analogia liniei magnetostrictive cu dispozitivele electronice clasice, tub, transistor se poate stabili și în ceea ce privește parametrii de definiție ai acesteia. Precizăm că în proiectare s-a ținut seamă că acești parametri sînt funcție de punctul static de funcționare (cîmpul magnetic constant), că variază cu modificarea acestuia.

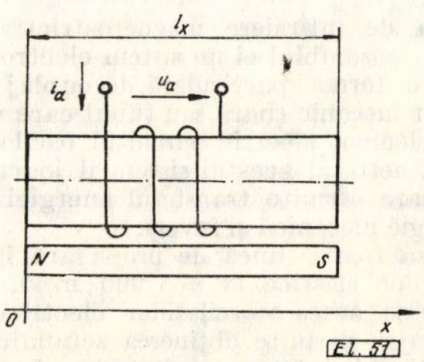


Fig. 1. Traductor magnetostrictiv cu magnetizare remanentă longitudinală.

În figura 1 este prezentat un traductor magnetostrictiv cu magnetizare remanentă longitudinală dată de un magnet permanent N—S.

Tensiunea la bornele electrice se poate prezenta ca diferenţa dintre două tensiuni fictive :

$$U_a = \frac{Sw\beta}{l_x}\left[\left(\frac{\partial \xi}{\partial t}\right)\Big|_{x=l_x} - \left(\frac{\partial \xi}{\partial t}\right)\Big|_{x=0}\right] = \\ = U_{x=l_x} - U_{x=0}, \qquad (7)$$

unde :

S este suprafaţa secţiunii transversale a traductorului ;
w — numărul de spire al înfăşurării de excitaţie ;
ξ — deplasarea unui element de masă din poziţia sa de repaus ;
l_x — lungimea traductorului ;
β — constanta de magnetostricţiune a materialului respectiv.

Ţinînd seamă de alegerea analogiilor electromecanice bazate pe ecuaţiile (5) şi (6), se stabileşte efortul unitar σ care apare în epruvetă la aplicarea curentului de excitaţie i :

$$\sigma = -\beta \frac{w}{l_x} i, \qquad (8)$$

cît şi viteza de deplasare a elementului de masă şi tensiunea la borne :

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{l_x}{Sw} u. \qquad (9)$$

Mai departe este valabil :

$$\frac{\partial i}{\partial x} + \frac{\rho l_x^2}{Sw^2\beta^2} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = 0 ; \qquad (10)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{Sw^2\beta^2}{E_H \cdot l_x^2} \cdot \frac{\partial (i - i_a)}{\partial t} = 0, \qquad (11)$$

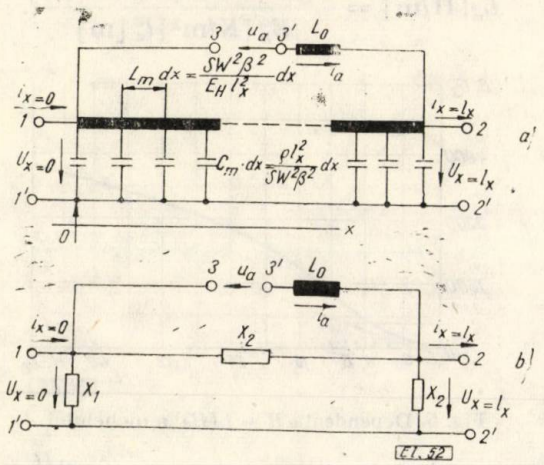


Fig. 2. Scheme echivalente pentru un traductor magnetostrictiv.

unde :

ρ este densitatea epruvetei ;
E_H — modulul de elasticitate longitudinal.

Ecuaţiile (7), (10) şi (11) descriu o schemă echivalentă ca în figura 2 *a*, respectiv 2 *b* care reprezintă traductorul magnetostrictiv cu oscilaţii libere la mersul în gol, iar perechile de borne 1—1′ şi 2—2′ marchează suprafeţele finale ale corpului traductorului.

În serie cu bornele electrice 3—3′, trebuie să se ţină seamă de inductanţa traductorului :

$$L_0 = \frac{w^2 \cdot S}{l_x} \cdot \mu_e. \qquad (12)$$

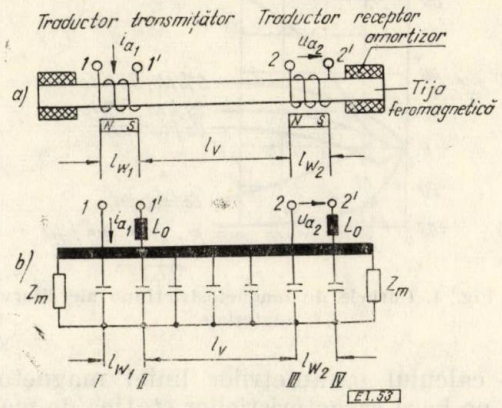


Fig. 3. Schema electrică modelată pentru o linie de întîrziere magnestostrictivă.

După ce s-au determinat elementele care caracterizează traductorul magnetostrictiv (fig. 2 *a* şi *b*), se extinde schema lui echivalentă la întreaga linie de întîrziere, în care se consideră conductorul magnetostrictiv încastrat la ambele capete (fig. 3 *a* şi *b*). Încastrarea se consideră echivalentă cu o sarcină egală cu impedanţa caracteristică Z_m, deci adaptată.

2. Proiectarea liniilor de întîrziere magnetostrictive în regim de impulsuri

2. 1. Relaţii de proiectare

Despre liniile de întîrziere magnetostrictive, în literatura studiată, în afara unor probleme teoretice, scheme-bloc şi rezultate (oscilograme) ale părţii experimentale, nu se dau metode riguroase de proiectare sau scheme concrete. În cele ce urmează, pornind de la consideraţiile teoretice expuse la punctul 2, se expune o metodă de proiectare care s-a verificat practic şi care a dat rezultate similare celor apărute în literatura străină.

Etapele acestei metode de calcul sînt următoarele :

— alegerea materialului magnetostrictiv, pe baza unor considerente practice : cîmpul magnetic, de polarizare continuă, să fie cît mai mic, iar alungirea materialului, sensibilitatea magnetostrictivă la variaţia cîmpului magnetic, să fie maximă ;

— alegerea punctului de funcţionare astfel încît variaţia maxim posibilă a cîmpului să nu modifice practic parametrii calculaţi în punctul de funcţionare, pentru ca linia magnetostrictivă

să fie considerată un dispozitiv liniar (conform cu teoria filtrului optim);

— calculul lungimii traductorului în funcţie de timpul de întîrziere t_0, necesar pentru a produce apariţia simultană a maximului de acelaşi semn al fiecărei componente alternative a semnalului la ieşire;

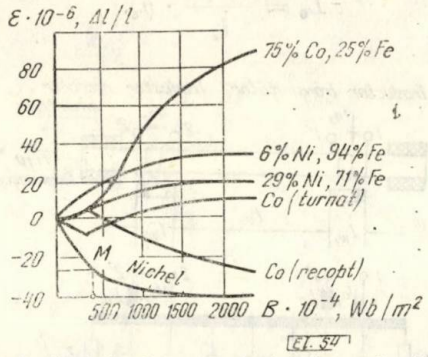


Fig. 4. Curbele de magnetostricţiune ale cîtorva materiale.

— calculul parametrilor liniei magnetostrictive pe baza caracteristicilor statice de material în punctul de funcţionare ales;

— calculul mărimilor electrice care caracterizează procesele magnetostrictive directe şi inverse, în punctul de funcţionare ales;

— calculul tensiunii la ieşirea filtrului optim.

Toate aceste etape se parcurg în detaliu în cele ce urmează.

2. 2. Alegerea materialului magnetostrictiv şi a punctului de funcţionare statică

Următoarele metale şi aliaje manifestă, în ordine, puternice proprietăţi magnetostrictive: permendurul, nichelul pur şi aliajele nichelului, menţionîndu-se cele cu fier, aluminiu, cupru.

Materialul se întrebuinţează sub formă de bare, tuburi sau în forma unor plăcuţe subţiri.

În figura 4 se dau cîteva caracteristici statice $\varepsilon = f(B)$ ale celor mai utilizate materiale.

În acest caz s-a ales nichelul. Conform criteriilor de alegere a punctului de funcţionare statică, în cazul practic, s-a ales punctul M (fig. 4).

2. 3. Calculul lungimii traductorului (l_x)

Lungimea traductorului se determină din rezolvarea grafică a integralei de convoluţie:

$$f_{ies}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} q(\tau - t) \cdot f_{int}(\tau) \cdot d\tau, \qquad (13)$$

unde:

$q(\tau) \equiv 0$, pentru $\tau > 0$,

iar $q(\tau)$ este o funcţie de apreciere definită ca imagine a funcţiei pondere a traductorului.

Practic s-a verificat o metodă mult mai simplă şi suficient de exactă:

$$l_x = \frac{T}{2} \cdot V, \qquad (14)$$

unde:

T este perioada semnalului aplicat la intrare pentru impulsuri radio, sau perioada unei armonici din spectrul impulsului video pe care dorim să oscileze traductorul;

v — viteza de deplasare a deformaţiei elastice în mediul feromagnetic.

Rezultatul calculului concret duce la $l_x = 1$ cm pentru frecvenţa de lucru $f = 250$ kHz.

2. 4. Calculul parametrilor liniei magnetostrictive

Pentru aceasta se foloseşte caracteristica histerezis a materialului magnetostrictiv ales (fig. 5) şi caracteristica magnetostrictivă din figura 4.

În punctul M se pot defini: coeficientul de magnetostricţiune direct $\beta_M = \left.\frac{dB}{d\varepsilon}\right|_M$ şi coeficientul de permeabilitate $\mu_M = \left.\frac{dB}{dH}\right|_M$. În cazul concret, din calcul au rezultat valorile: $\beta_M = 1\,000$ Wb/m² şi $\mu_M = 10^{-4}$ H/m.

2. 5. Calculul mărimilor electrice.

Calculul capacităţii pe unitatea de lungime:

$$C_m\,[F/m] = \frac{\rho\,[\mathrm{kg/m^3}]\, l_x^2\,[\mathrm{m}]}{S\,[\mathrm{m^2}] \cdot w^2 \cdot \beta^2\,[wb/\mathrm{m^2}]}. \qquad (15)$$

Rezultatul concret este $C_m = 0{,}18 \frac{\mu F}{cm}$.

Calculul inductanţei pe unitatea de lungime:

$$L_m[\mathrm{H/m}] = \frac{S\,[\mathrm{m^2}] \cdot w^2 \cdot \beta^2\,[\mathrm{Wb/m^2}]}{E_H\,[\mathrm{N/m^2}]\, l_x^2\,[\mathrm{m}]}. \qquad (16)$$

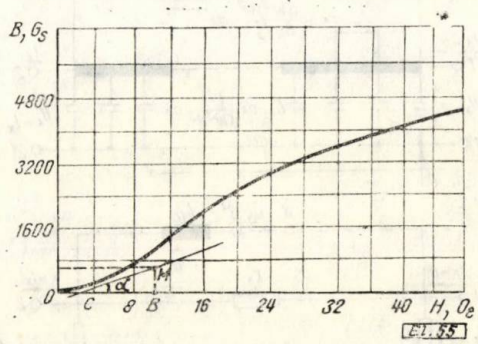


Fig. 5. Dependenţa $B = f(H)$ a nichelului.

Rezultatul concret este $L_m = 22{,}6 \frac{\mu H}{cm}$.

Calculul impedanţei caracteristice:

$$Z_m[\Omega] = \frac{S[\mathrm{m^2}] \cdot w^2 \cdot \beta^3[\mathrm{Wb/m^2}]}{l_x^2\,[\mathrm{m}]} \cdot \frac{1}{\sqrt{E_H\,[N/\mathrm{m^2}] \cdot \rho[\mathrm{kg/m^3}]}}. \qquad (17)$$

Rezultatul concret este $Z_m = 11\ \Omega$.

Calculul reactanțelor :

$$X_1 = Z_m \operatorname{tg} \frac{\omega}{2v} l_x. \tag{18}$$

Rezultatul concret este $X_1 = \infty$;

$$X_2 = Z_m \frac{1}{\sin \frac{\omega}{v} \cdot l_x}. \tag{19}$$

Rezultatul concret este $X_2 = \infty$.

Dacă ipotezele de calcul pentru lungimea traductorului sînt cele din relația (14), atunci valoarea ambelor reactanțe trebuie să fie egală cu infinit. În caz contrar, pentru oscilațiile elastice imprimate barei magnetostrictive, nu sînt îndeplinite condițiile de rezonanță ; linia de întîrziere lucrează cu un randament scăzut, ca urmare a pierderilor de inserție care sînt mari.

Calculul numărului de spire al traductorului :

$$W = \sqrt{\frac{L_0\ [H] \cdot l_x [\mathrm{m}]}{\mu\ [\mathrm{H/m}] \cdot S\ [\mathrm{m^2}]}}. \tag{20}$$

În funcție de necesități, L_0 se alege între limitele 25 și 500 μH.

Rezultatul concret este $L_0 = 500$ μH și $W = 500$ spire.

Calculul tensiunii la ieșirea traductorului receptor :

$$U_{a2}\ [\mathrm{V}] = W \cdot S\ [\mathrm{m^2}] \frac{\Delta B\ [Wb/\mathrm{m^2}]}{\Delta t [\mathrm{s}]}, \tag{21}$$

unde :

$$\Delta t = \frac{l_x}{v};$$

ΔB este variația inducției magnetice pe caracteristica de magnetostricțiune a barei.

Rezultatul concret este $U_{a2} = 35$ mV.

3. Rezultate experimentale

Rezumînd cele spuse anterior, pentru realizarea practică a unei linii de întîrziere magnetostrictive, s-a ales un conductor feromagnetic cu diametrul de 0,46 mm din aliajul Ni-Co, căruia i s-a făcut un tratament special pentru recoacerea de recristalizare. Pentru acest conductor au rezultat :

$E_H = 22{,}10^{10}$, N/m² ;

$\rho = 8{,}9 \cdot 10^3$, kg/m³ ;

$v = 5\ 000$, m/s ;

$S \simeq 0{,}2 \cdot 10^{-6}$, m² ;

$\beta \simeq 10^2$, Wb/m².

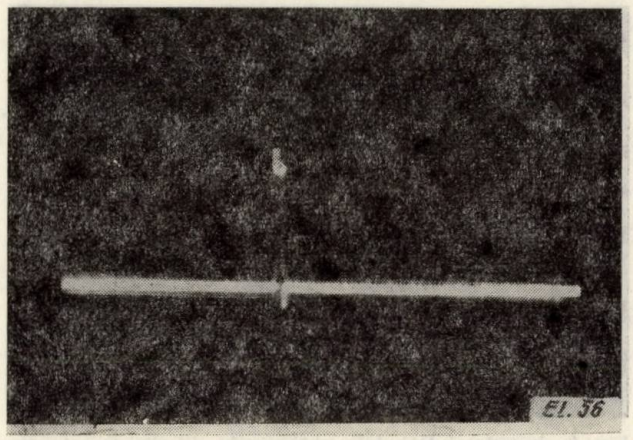


Fig. 6. Impuls video aplicat la intrarea liniei de întîrziere.

La intrarea traductorului transmițător s-au aplicat impulsuri video cu durata de 2,2 μs (fig. 6) și cu o frecvență de repetiție mai mică de 10 kHz, pentru a se putea pune în evidență întîrzierea impusă.

Pentru fiecare impuls aplicat la intrare, la ieșirea traductorului receptor s-a obținut un impuls întîrziat de forma reprezentată în figura 7 care este răspunsul sistemului. Practic se verifică faptul că între intrare și ieșire există o dependență liniară. Forma impulsului întîrziat, nu depinde de frecvența de repetiție a impulsurilor aplicate la intrare, ci numai de durata acestora și de lungimea traductorului.

Utilizînd o lungime de 60 cm, s-a obținut o întîrziere de 120 μs. Rezultă că timpul de întîrziere pe unitatea de lungime este de 2 μs/cm, ceea ce reprezintă destul de mult dacă se compară cu întîrzierea de 1 μs care se realizează cu aproape 100 m cablu coaxial, fără să se mai țină seamă de atenuarea considerabilă a acestuia.

Polarizarea s-a făcut cu magneți permanenți din ferită de bariu, anizotropi, cu următoarele caracteristici :

$B_r = 3\ 200 \ldots 3\ 700$ Gs ;

$H_c = 1\ 500 \ldots 2\ 500$ Oe.

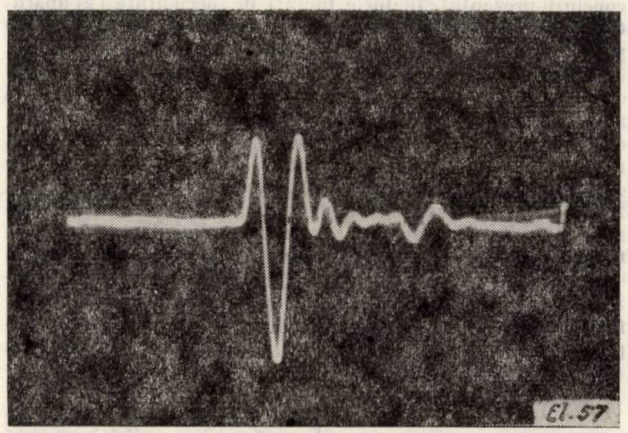


Fig. 7. Impuls întîrziat obținut la ieșirea liniei de întîrziere.

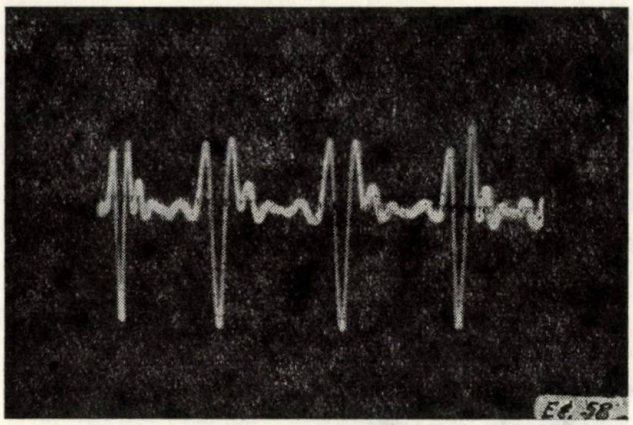


Fig. 8. Impulsuri întîrziate obţinute în diferite puncte ale liniei de întîrziere.

Atenuarea de inserţie obţinută în acest caz a fost de 60 dB şi se încadrează foarte bine în limitele stabilite.

Pentru acelaşi traductor transmiţător, utilizînd patru traductoare receptoare, s-au obţinut grupe de patru impulsuri întîrziate, corespunzător şi cu aceeaşi frecvenţă de repetiţie, ca şi impulsurile de la intrare (fig. 8).

Distanţa dintre două impulsuri ale grupului poate fi variată după voie prin simpla deplasare a traductoarelor corespunzătoare.

Posibilitatea de a deplasa în orice poziţie traductorul receptor, reprezintă unul dintre avantajele esenţiale ale liniei de întîrziere magnetostrictive faţă de cele piezoelectrice, unde traductorul receptor are o poziţie fixă.

4. Concluzii

Cercetări mai recente ne arată că au fost create linii de întîrziere cu ultrasunete, care îşi găsesc aplicaţii în instalaţiile de radiolocaţie, la contoare electrice, la sistemele de televiziune în culori (sistemul european SECAM), la maşinile electronice de calcul cu sisteme de memorizare (o linie de întîrziere cu ultrasunete pentru impulsuri de 0,1 μs şi o întîrziere de 3 000 μs a permis o înmagazinare de 30 000 biţi a informaţiei) etc.

Liniile de întîrziere ultrasonore cunoscute pînă în prezent lucrează în banda 0,25÷100 MHz. Pentru cazuri speciale s-au construit şi linii de întîrziere care lucrează cu microunde, obţinîndu-se durate de întîrziere de aproximativ 10 μs, cu frecvenţe pînă la 3 000 MHz.

Rezultatele cercetărilor efectuate de noi atestă că liniile de întîrziere magnetostrictive, în care informaţia se păstrează sub formă de remanenţe dispuse de-a lungul liniei, pot fi utile în toate dispozitivele electronice în care intervine întîrzierea semnalelor electrice, cît şi în construcţia unor generatoare mai simple pentru formarea grupurilor de impulsuri.

Bibliografie

[1] *Moeller, Ch.* Traductoare piezoelectrice şi magnetostrictive utilizate ca elemente electronice. În : Nachrichtentechnik, nr. 3, martie 1965, p. 88—94.

[2] *Monds, F.* şi *Rosie, A.* Synthesis of matched filters for signal recognition using magnetostrictive delay lines. În : Proc. IEE **111**, nr. 10, oct 1964.

[3] *Niculescu, T.* Aspecte teoretice şi experimentale privind linia de întîrziere magnetostrictivă. Sesiunea de comunicări a Academiei militare, aprilie 1968, Bucureşti.

Intrat în redacţie la 10.VI.1968.

DISCUŢII

Asupra articolului „Criterii de calitate privind turnarea coliviilor de aluminiu pentru motoarele asincrone în scurtcircuit", de Ing. Al. Cota, G. Crihană şi C. Chivăran, apărut în: Electrotehnica 16, nr. 6, iunie 1968, p. 235—239.

Observaţii

În articol, pe baza unor date cunoscute din literatura de specialitate [1], s-a căutat ca, pe calea unor experimentări efectuate la Uzina de Maşini Electrice-Bucureşti, să se confirme concluzii prezentate în unele lucrări de specialitate [2] apărute înainte de perfecţionările recente aduse maşinilor specializate pentru turnarea sub presiune a coliviilor rotoarelor. În adevăr, în articol se ajunge la concluzia că „turnarea centrifugală este un procedeu care trebuie preferat în special la gabarite mari", deoarece faţă de procedeul de turnare sub presiune conduce la pierderi mai mici, încălzire mai mică şi randament mai bun. În particular îmi îngădui a observa că rezultatele obţinute de experimentatori şi prezentate în tabela 1 (pag. 238) nu pot convinge o fabrică producătoare de motoare electrice să prefere metoda de turnare centrifugală în locul metodei de turnare sub presiune, cu mult superioară din punctul de vedere al rentabilităţii şi al organizării fabricaţiei : randamentul este mai mare la motoarele cu colivia turnată centrifugal *numai* cu 0,4% faţă de cele cu colivia turnată sub presiune, iar încălzirea este mai mică *numai* cu 3,8°C la turnarea centrifugală faţă de turnarea sub presiune*.

* Cifrele au fost stabilite pe baza mediei rezultatelor pentru cele trei încercări de rotoare turnate sub presiune şi a mediei celor două încercări de rotoare turnate centrifugal (tabela 1. pag. 238).

Motivul esenţial pentru care consider însă că lucrarea autorului trebuie pusă în discuţie este faptul că în ultimii ani diversele firme cu renume mondial [3] [5], în construcţia de maşini de turnat sub presiune, au produs aşa-numitele maşini de turnat sub presiune cu *ajutorul vidului, maşini care elimină inconvenientul principal al maşinilor clasice de turnat sub presiune : prezenţa golurilor în interiorul piesei turnate datorită aerului remanent din camera de presare introdus şi înglobat inevitabil în structura metalului în timpul presării.* În adevăr, o instalaţie de producere a vidului în camera de umplere şi în cochila de turnare face parte din instalaţiile auxiliare ale noilor maşini de turnat sub presiune ; instalaţia de producere a vidului se compune dintr-o pompă de vid cu rezervorul respectiv şi supapele de reglare şi succesiune. Prin absorbirea aerului din camera de umplere şi din cochilă, înaintea fiecărei injecţii de aluminiu topit, cu ajutorul instalaţiei de producere a vidului se înlătură orice posibilitate de a obţine goluri în coliviile din aluminiu ale rotoarelor.

O dată înlăturată sursa principală de inferiorizare a calităţii coliviilor din aluminiu turnate sub presiune, procedeul de turnare sub presiune prezintă mari avantaje faţă de procedeul de turnare centrifugală, şi anume :

— nu necesită preîncălzirea îndelungată a rotoarelor și a cochilelor;

— permite cuplarea mașinii de turnat sub presiune cu un cuptor electric de menținere a aluminiului topit [3], astfel încît expulzia unei anumite cantități de aluminiu topit din cuptor în camera de umplere a mașinii — la intervale de timp constante — se realizează automat; *o puternică influență asupra calității coliviei turnate* o are faptul că în acest complex, *metalul topit este totdeauna prelevat de substratul de zgură care rezultă din oxidare*, printr-un efect de suprapresiune în interiorul cuptorului. În articol autorii nu amintesc nimic despre acest procedeu care credem că trebuia amintit;

— cu toate că la mașina de turnat centrigugală de la U.M.E.B. (brevet de invenție, dosar 51507/1966) s-a realizat un însemnat grad de mecanizare a lucrărilor, nu se atinge totuși nivelul la care s-a ajuns în cazul complexelor moderne, mașina de turnat sub presiune pentru rotoare — cuptor de alimentare automată[4]; menționez că asemenea complexe pot produce cîte 100 rotoare turnate/oră, rotoare cu diametrul de 250 mm; această productivitate, pentru rotoare mari, depășește de 10—15 ori productivitatea realizată la mașina de turnat centrifugală de la U. M. E. B.

În concluzie consider că pentru fabricația de motoare electrice în scurtcircuit cu colivii de aluminiu turnate, rentabilitatea producției va fi mult mărită prin adoptarea procedeului de turnare sub presiune cu ajutorul vidului. În plus instalațiile și mașinile specializate respective vor fi în scurt timp amortizate.

Bibliografie

[1] *Halt, H. G.* Läuferkäfige für Drehstrommotoren aus Aluminium Scheuderguss. Berlin (Ost), Verlag Tecnik, 1952.

[2] *Cearahian, I. N.* ș. a. Influența metodei de turnare și izolație a coliviei în scurtcircuit de la miezul rotorului, asupra indicilor motoarelor asincrone. În: Elektritehnika, nr. 1, 1964.

[3] Documentația tehnică a firmei Triulzi (Italia) pentru mașinile de turnat sub presiune Castmatic.

[4] Documentația tehnică a firmei Triulzi (Italia) pentru mașinile speciale de turnat sub presiune Rotorcast.

[5] Documentația tehnică a firmei Buhler (Elveția) pentru mașini speciale de turnat sub presiune.

Ing. *Ionescu Nicolae*

Uzina de mașini electrice — București.

Răspuns

Mulțumim tov. ing. Ionescu Nicolae pentru observațiile utile pe care le-a făcut.

Sîntem de acord cu afirmația că turnarea sub presiune a coliviilor este cu mult superioară și că nu poate fi înlocuită prin metoda de turnare centrifugală, în ori ce condiții. Însă din articolul nostru nu rezultă în nici un caz recomandarea ca turnarea sub presiune să fie înlocuită cu cea centrifugală.

Articolul, care face obiectul observațiilor, nu și-a propus să recomande metode de turnare a coliviilor, de altfel nici din titlul articolului nu reiese că acesta ar fi țelul autorilor. Autorii au prezentat, pe baza experiențelor efectuate, studiul: influența metodelor de turnare asupra calității rotoarelor, scoțîndu-se în evidență că turnarea centrifugală poate conferi aluminiului turnat o structură compactă și posibilitatea atingerii unui procent de puritate superior.

Privitor le metodele de turnare, și autorii articolului publicat menționează la pagina 235 că turnarea sub presiune se aplică în mod curent, fiind limitată practic de capacitatea instalațiilor de turnare sub presiune. În continuarea articolului, la pagina 239 se arată, la concluzii, că turnarea centrifugală trebuie aplicată la motoare cu gabarite mari, pentru prototipuri și pentru mașini electrice destinate studiilor, așa cum este cazul asimilării noilor serii de motoare, urmărindu-se obținerea performanțelor superioare, care incontestabil pot fi obținute și prin turnarea sub presiune.

Pe de altă parte, autorii au avut în vedere că pentru turnarea de unicate sau a unui număr mic de colivii, costul formelor metalice pentru turnarea centrifugală este cu mult mai scăzut în comparație cu acela al formelor necesare la turnarea sub presiune.

Considerăm că datorită acestei discuții, problema atît de importantă a turnării rotoarelor în colivie de aluminiu este și mai bine clarificată, cu atît mai mult cu cît tov. ing. Ionescu Nicolae scoate în evidență avantajele turnării moderne sub presiune cu ajutorul vidului, metodă despre care noi nu am vorbit în lucrarea noastră.

Ingineri *Al. Cota, G. Crihană, C. Chivăran*

Uzina de mașini electrice — București

Observațiile redacției.

În problema atît de importantă a organizării științifice și a rentabilității producției, redacția consideră că discuția publicată completează articolul apărut în nr. 6/1968 al revistei noastre și va fi în felul acesta de un real folos specialiștilor și uzinelor noastre de mașini electrice.

Atragem atenția că atît articolul, cît și discuția nu epuizează problema turnării calitative a coliviilor de aluminiu. Problema obținerii unui aluminiu în stare turnată, avînd o rezistivitate cît mai mică, cît mai aproape de rezistivitatea aluminiului chimic pur, este totuși problema cheie a producției în această direcție, mai cu seamă atunci cînd se coroborează și cu o rentabilizare mare a acestei producții.

Sperăm că specialiștii noștri care au analizat această problemă vor relua în noi articole problemele turnării coliviilor de aluminiu a motoarelor asincrone.

RECENZII

CZ 621.313.3 0

I. B. Danielevici, V. V. Dombrovski și E. Kazovski. **Parametrii mașinilor de curent alternativ** (traducere din l. rusă). București, Editura tehnică, 1968.

Pe cuprinsul a 16 capitole se fac considerații teoretice și practice privind determinarea parametrilor mașinilor electrice, scoțîndu-se în evidență fenomenele fizice și aspectele matematice care caracterizează procesele din mașinile de curent alternativ.

După expunerea metodelor moderne de calcul se analizează efectul saturației și efectul pelicular, determinîndu-se influența lor asupra parametrilor mașinilor electrice.

Metodele de calcul ale parametrilor mașinilor electrice de curent alternativ au la bază următoarele considerații:

— se aproximează cîmpul magnetic real printr-un spectru de calcul, determinîndu-se în acest caz fluxurile și inductivitățile;

— se înlocuiesc înfășurările statorice și rotorice trifazate prin înfășurări bifazate, simplificîndu-se o serie de calcule;

— se reduc ecuațiile scrise pentru axele longitudinale și transversale la un sistem înjumătățit de relații.

În lucrare se folsesc unități relative.

După un scurt istoric se formulează problema și se arată scopul și conținutul lucrării, aspectele teoretice și practice, precum și metodele noi aplicate la determinarea parametrilor mașinilor electrice de curent alternativ.

Dezvoltarea problemelor pe capitole se prezintă astfel.

În capitolul al doilea şi al treilea se fac consideraţii asupra influenţei parametrilor asupra valorii curenţilor din regim tranzitoriu, asupra cuplurilor de rotaţie asupra supratensiunilor şi se scot în evidenţă relaţiile de calcul ale cîmpului magnetic al înfăşurării statorice şi rotorice.

Alegerea parametrilor maşinilor se face ţinînd seamă şi de costul ei, respectiv de aspectele tehnico-economice care duc la determinarea soluţiei optime.

Capitolul al patrulea cuprinde schemele echivalente ale maşinilor electrice cu poli aparenţi şi poli înecaţi.

Capitolele 5—8 se referă în ordine la reactanţele de dispersie a statorului şi rotorului, la reactanţa mutuală a înfăşurării statorice şi rotorice, precum şi la rezistenţele înfăşurărilor.

În capitolele 9—11 se fac consideraţii privind influenţa efectului pelicular, a saturaţiei şi a pierderilor suplimentare asupra parametrilor maşinilor electrice de curent alternativ.

Capitolul 12 arată cum se determină caracteristicile de frecvenţă cu şi fără considerarea rezistenţei circuitului, atît sub aspect teoretic, cît şi practic.

În capitolul 13 se tratează reactanţele şi rezistenţele succesiunii omopolare a fazelor, scoţîndu-se în evidenţă atît dispersiile frontale şi diferenţiale, cît şi rezistenţa circuitului la această succesiune.

Capitolul 14 cuprinde consideraţii privind determinarea parametrilor maşinilor electrice în regim de scurtcircuit. Astfel se stabilesc schemele echivalente cînd scurtcircuitul este în interiorul maşinii şi se arată modul de calcul al elementelor din schemele construite.

În ultimele două capitole (15—16) se scot în evidenţă conceptele metodelor clasice şi moderne privind determinarea parametrilor maşinilor electrice de curent alternativ.

Ultimul paragraf al cărţii scoate în evidenţă perspectivele dezvoltării noilor metode de investigaţie în domeniul proiectării maşinilor electrice.

Lucrarea se încheie cu 141 referinţe bibliografice. Conţinutul cărţii desfăşurat pe 250 pagini este redat la un nivel corespunzător scopului urmărit.

Autorii reuşesc să îmbine armonios aspectele matematice şi fizice, fără a neglija legătura cu practica de proiectare a tipurilor de maşini electrice de curent alternativ.

A. Carabulea

C. Saal. **Studii privind acţionările electromecanice cu motoare liniare cu mişcare alternativă** (teză de doctorat).

Teza de doctorat a ing. C. Saal aduce o contribuţie la înlăturarea ideii preconcepute a universalităţii utilizării motoarelor electrice rotative şi dezvoltă cu un pas mai departe principiile teoretice de funcţionare şi de exploatare ale motoarelor liniare cu mişcare alternativă. Domeniile în care acestea din urmă pot rivaliza cu motoarele cu mişcare de rotaţie se referă la transporturi, construcţii, turnătorii, industria minieră şi altele şi sînt în continuă extindere.

Principalul avantaj al motoarelor liniare de tipul studiat în teză constă în obţinerea mişcării rectilinii alternative fără sistemul bielă-manivelă, la care se mai adaugă lipsa contactelor electrice glisante şi construcţia simplă şi robustă.

Contribuţia originală multiplă a autorului se referă printre altele la elaborarea pentru prima dată a teoriei de funcţionare a oscilomotorului bifazat reactiv, la definirea tot pentru prima dată a ceea ce trebuie să se înţeleagă prin caracteristicile de funcţionare ale oscilomotoarelor, la enunţarea unor teoreme privind legătura dintre oscilomotor şi receptorul său mecanic, teoreme importante pentru optimizarea condiţiilor de utilizare practică a acestor maşini. Principalele concluzii teoretice sînt confirmate pe cale experimentală.

Unul din aspectele remarcabile ale lucrării constă în abordarea globală a problemei examinate, de la interacţiunea dintre oscilomotor şi receptorul său mecanic, respectiv de la legătura sa cu reţeaua de alimentare, pînă la comportarea sa electrodinamică intrinsecă şi conturarea unei concepţii generale privind studiul şi utilizarea lor. Prin toate acestea lucrarea atinge o complexitate deosebită, păstrînd totuşi o formă de prezentare suficient de unitară. În acelaşi timp ea se extinde asupra tuturor variantelor cunoscute pentru motoarele oscilante liniare fără cîmp alunecător.

Ca volum, teza de doctorat examinată însumează 265 pagini, conţinînd 9 capitole, 83 titluri bibliografice şi 98 figuri. Primul capitol are un caracter introductiv. Capitolele II şi III tratează aspecte teoretice ale motorului bifazat cu mişcare rectilinie alternativă. Capitolul IV se referă la prezentarea tipurilor de motoare liniare electromagnetice, cu mişcare rectilinie alternativă, inclusiv vibratoarele electromagnetice polarizate şi reactive. Capitolele V, VI şi VII se ocupă cu acţionarea compresoarelor de către motoare parametrice liniare de tip Marinescu, de asemenea, cu acţionările cu motoare oscilante în regim de mişcare alternativă periodică, sinusoidală sau nu, cît şi cu comportarea energetică a dispozitivelor electromecanice de acţionare cu motoare oscilante liniare. Capitolul VIII conţine încercările experimentale efectuate, iar ultimul capitol este consacrat concluziilor.

Ca mod de abordare a problemelor se poate remarca faptul că dezvoltarea teoriei maşinilor examinate se face sintetizînd comportarea lor electrică şi cea mecanică. Astfel, de exemplu, teoria numită *simplificată* a motorului bifazat reactiv cu mişcare rectilinie alternativă se bazează pe prelucrarea ecuaţiilor de funcţionare, conţinînd ecuaţiile tensiunilor $\left[R\, i_j + w \frac{d\Phi_j}{dt} = u_j,\ j = 1;2\right]$ şi ecuaţia de mişcare $\left[m \frac{d^2x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + k_r x = f_m = \frac{\Phi_2^2 - \Phi_1^2}{2\,\mu_0 S_f}\right]$ a motorului; analog se procedează şi la dezvoltarea teoriei vibratorului electromagnetic polarizat. Tratarea analitică — uneori dificilă — se face cu un instrument matematic adecvat, de înalt nivel. Partea experimentală a lucrării surprinde atît prin bogăţia sa în raport cu dificultăţile date de obiectul tratat, cît şi prin ingeniozitatea dispozitivelor create în vederea experimentărilor. Printre acestea se poate cita dispozitivul experimental utilizat la determinarea forţei electromagnetice în funcţionarea motoarelor examinate. În general impresionează meticulozitatea de lucru, spiritul autocritic şi probitatea ştiinţifică absolută a autorului.

Un aspect important care ar mai trebui subliniat constă în continuitatea preocupărilor din ţara noastră în ce priveşte tema abordată, numele autorului tezei examinate adăugîndu-se la acela al prof. dr. docent Boţan C. de la Iaşi, a regretatului ing. Cristea N. de la Braşov şi la acela binecunoscut în domeniul tratat al prof. dr. docent Marinescu M. din Bucureşti, creîndu-se astfel o adevărată şcoală românească într-un domeniu aplicativ nou şi interesant al electrotehnicii. Contribuţie valoroasă şi multilaterală, teza de doctorat a ing. Saal C. reprezintă un pas înainte în domeniul motoarelor liniare cu mişcare alternativă, de care lucrările ulterioare pe plan mondial greu vor putea face abstracţie. Pătrunderea în circuitul spiritual internaţional este asigurat şi prin numeroasele articole publicate de către autor asupra preocupărilor sale. Astfel, din cele 83 titluri bibliografice citate în lucrare, 21 titluri aparţin unor autori români, iar 9 dintre acestea aparţin personal ing. Saal.

Teza de doctorat examinată reprezintă o lucrare valoroasă, care merită în acelaşi timp atenţia specialiştilor în vederea unor aplicaţii în domeniul acţionărilor electrice, cu obiective adecvate şi crează obligaţia morală pentru autor de a-şi dezvolta opera mai departe.

Dr. ing. E. Şofan

REFERATE

CZ 621.313 *Maşini electrice*

CZ 621.313.001.2

Zaicic, V. M. **Aplicarea programării matematice la proiectarea maşinilor electrice** (Primenenie metoda matematiceskogo programirovanie electriceskih maşin). În : Electricestvo, nr. 9, 1968, p. 42—45, 3 tab., 1 schemă, 6 ref. bibl.

După precizarea stadiului cercetărilor în problema utilizării programării matematice în studiul şi proiectarea maşinilor electrice se formulează condiţiile care se cer la elaborarea modelului matematic.

Restricţiile urmăresc cuprinderea în model a tuturor aspectelor fizice şi înlesnesc înţelegerea aspectelor legate de proiectarea optimă a maşinilor electrice.

Se scriu ecuaţiile modelului matematic şi se comentează structura relaţiilor.

Se construieşte schema logică de calcul şi se determină constantele care intervin în structura modelului prezentat.

Se rezolvă modelul matematic cu ajutorul maşinilor electronice cifrice, folosindu-se ordinea calculelor prinse în schema logică.

Algoritmul conceput permite proiectarea într-un timp relativ scurt a maşinilor electrice, fără a evita o serie de probleme tehnico-economice ce intervin în exploatarea motoarelor şi generatoarelor electrice.

A. C.

CZ 621.313.333.2.001.24 :518.5

Bausch, H., Iordan, H. şi Weis, M. **Calculul digital al comportării tranzitorii a motoarelor trifazate cu colivie de veveriţă fără efect pelicular** (Le calcul digital du comportement transitoire de moteurs triphasés a cage d'écureuil sans effet pelliculaire). În : ETZ—A 89, nr. 15, 1968, p. 361—366, 7 fig. 4 tab., 10 ref. bibl.

Ecuaţiile de tensiune care se folosesc în cazuri generale pentru motoarele asincrone cu colivie de veveriţă sînt scrise vectorial.

După încadrarea noilor concepte se arată că o soluţie simplă nu se poate formula în special la considerarea ecuaţiilor de mişcare. Pentru determinarea soluţiilor în acest caz s-au formulat modelele matematice şi schema logică de calcul. Prin intermediul algoritmului se integrează numeric şi pas cu pas prin aplicarea metodei Runge-Kutta. Pornirea motorului se poate face în gol. Configuraţia înfăşurărilor pe stator şi rotor este stea triunghi.

Exemplul numeric care a stat la baza verificării programului întocmit pentru calculatoarele cifrice se referă la comportarea în regim tranzitoriu a unui motor trifazat de 8 kW.

A.C.

Widger, G.F.T. şi Adkins, B. **Caracteristica de pornire a motoarelor sincrone cu poli masivi aparenţi** (Starting performance of synchronous motore with solid salient poles). În : Proceeding of the Institution of Electrical Engineers, nr. 10, 1968, p. 1471—1484, 33 fig. 17 ref. bibl.

Se prezintă o metodă de predeterminare a caracteristicilor de pornire ale motoarelor sincrone cu poli aparenţi pornind de la cunoaşterea admitanţelor operaţionale directe şi în cuadratură dependent de frecvenţă Y_d ($js\ \omega_0$), Y_q ($js\ \omega_0$). Pentru determinarea locului lor geometric se prezintă o metodă exactă teoretică, cu luarea în considerare a rezistenţei statorice, cît şi una aproximativă grafică, ce nu ţine seamă de această rezistenţă. Se prezintă o nouă formă de circuit echivalent al motorului cu poli aparenţi, ţinîndu-se seamă de saturaţie, saturaţie aproximativă prin diverse linii drepte. Pe baza acestui circuit echivalent se calculează caracteristicile de pornire şi se compară cu cele obţinute experimental. Se prezintă trei motoare de diverse puteri (un micrometru şi două maşini mari), ale căror caracteristici de pornire determinate teoretic sînt foarte aproape de cele experimentale, cu atît mai exacte cu cît maşina este de putere mai ridicată.

R.M.

Edwards, J. D. **O nouă metodă de măsurare a parametrilor maşinii sincrone cu poli aparenţi** (New method of measuring, 2-axis quantities). În : Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, nr. 10, 1968, p. 1493—1498, 8 fig., 8 ref. bibl.

După trecerea în revistă a actualelor metode de măsurare a reactanţelor sincrone pe cele două axe, autorul prezintă o nouă metodă bazată pe rezolvarea ecuaţiilor lui Park, metodă ce permite măsurarea acestor reactanţe pentru diverse alunecări. Pe acelaşi ax cu maşini de încercat sînt montate două sincroresolvere (maşini asincrone trifazate îngrijit lucrate, cu două înfăşurări în cuadratură pe rotor legate la trei inele), alimentate respectiv cu un sistem de curenţi proporţionali şi în fază cu tensiunile x_a, v_o, v_c şi, respectiv cu curenţii i_a, i_b, i_c . La inele se obţine v_d. v_q, respectiv i_d, i_q, mărimi înregistrate de un oscilograf cu buclă. Cu două bucle de putere se pot înregistra produsele $v_d\ i_d$ şi $v_q\ i_q$ şi, respectiv determina cuplul electromagnetic.

În concluzie, metoda permite determinarea parametrilor şi a regimurilor de funcţionare ale maşinilor sincrone în asincron, reprezentînd un instrument în ridicarea experimentală a caracteristicilor maşinilor electrice.

R.M.

Von der Embse, V.A. **O nouă teorie a maşinilor neliniare cu colector** (New theory of nonlinear comutator machines). In : I.E.E.E. Transactions on Power Apparatus and Systems, nr. 9, 1968, p. 1804—1809, 2 ref. bibl.

Se prezintă o nouă teorie a maşinilor electrice neliniare cu colector, teorie ce se poate aplica tuturor maşinilor a căror inductanţe sînt funcţii univoce neliniare de valoarea curentului electric, poziţia periilor şi a rotorului.

Pornindu-se de la ecuaţiile lui Lagrange şi de la valoarea coenergiei magnetice, funcţie neliniară de curent şi de diverşii parametri geometrici, se pot obţine ecuaţiile de funcţionare ale maşinii generalizate, neliniare, şi pe baza unor măsurători relativ simple pot fi predeterminate caracteristicile maşinii.

Utilizarea spaţiilor Finsler permite prezentarea unei teorii generale, mărimile fiind introduse sub formă tensorială sau sub formă obişnuită.

În încheiere se prezintă un exemplu simplu a unei maşini neliniare, ale cărei inductanţe datorită caracteristicii magnetice pot fi înlocuite prin funcţii exponenţiale de forma $L = Me^{-A|i|}$, şi se mai scriu astfel ecuaţiile de funcţionare ale maşinii.

R.M.

CZ 621.313.1.042.13 :538.541

Jamicson R.A. **Efectele curenţilor turbionari în rotoare de fier masiv fără crestături** (Eddy — curent effects in solid, unslotted iron rotors) şi **Efectele crestăturilor asupra curenţilor turbionari în rotoare de fier masiv** (Effects of slots on eddy currents in solid iron rotors). În : Proc. IEE, vol. **115**, nr. 6, iunie 1968, p. 813—820, 9 fig., 15 ref. bibl. şi p. 821—827, 9 fig., 9 ref. bil.

În regimul de pendulaţii ale unui generator sincron sau la ieşirea lui din sincronism, în rotorul de fier masiv sînt induşi curenţi turbionari şi corespunzător apar cupluri asincrone.

Ipotezele simplificatoare folosite pînă în prezent nu au dat rezultate satisfăcătoare în rezolvarea analitică a problemei. Saturaţia şi existenţa crestăturilor nu se pot neglija şi, aşa cum arată autorul, influenţa lor este considerabilă.

În două articole apărute în același număr al revistei Proc. IEE se iau în considerare aceste două fenomene, la mersul în asincron al mașinii sincrone cu poli înecați.

Problema de cîmp se rezolvă analitic considerînd rotorul cu o permitivitate constantă, fie pe baza unor măsurări experimentale pe modele.

Mai delicată este luarea în considerare a crestăturilor, problema fiind rezolvată în cîteva domenii distincte. Ca verificare a teoriei autorul prezintă un caz de resincronizare, valorile experimentale obținute fiind apropiate de cele calculate.

R.M.

CZ 621.313.333.027.6

*****Motoare asincrone mari la tensiune înaltă.** Ventilarea aerodinamică internă a motoarelor de mare putere (Les gros moteurs asynchrones à haute tension. La ventilation aèrodynamique interne des gros moteurs). În: Revue Général de l'Électricité, tom **77**, nr. 7—8, iulie-august 1968, p. 753—766.

Pe cuprinsul a trei articole de specialitate se discută aspecte teoretice și practice privind ventilarea motoarelor electrice de mare putere. Rezumatul și titlul materialelor se prezintă astfel:

1. *Bernard, M.* Ventilarea aerodinamică a marilor motoare. Generalități (La ventilation aérodynamique des gros moteurs. Généralités), p. 753—756.

Se subliniază aspectele practice privind ventilarea motoarelor de mare putere și se prezintă metodele pentru reducerea zgomotelor.

2. *Fleury, J.* Studiul experimental al circuitului de ventilare a unui motor asincron de 2 750 kW la 1 500 rot/min (Étude expérimentale du circuit de ventilation d'un moteur asynchrone de 2 750 kW à 1 500 tr/min), p. 757 — 762.

Se prezintă rezultatele experimentale a încercărilor efectuate privind ventilarea unui motor asincron de mare putere. Ventilarea a fost forțată, simetrică și radială.

Rezultatele măsurărilor sînt cuprinse în 11 diagrame.

3. *Cavaillé, Y.* Influența condițiilor de alimentare asupra performanțelor ventilatoarelor (Influence des conditions d'alimentation sur les performances des ventilateurs), p. 762—766.

Se prezintă rezultatele încercărilor a două ventilatoare elicoidale provenind unul de la un motor asincron de 2 750 kW la 1 500 rot/min și altul de la un motor de 6 200 kW la 3 000 rot/min. Se evidențiază influența formei capotei motorului asupra funcționării ventilatorului.

După încadrarea problemei se arată schemele motoarelor de 2 750 kW și 6 200 kW, precizîndu-se elementele care le compun.

Încercările efectuate și rezultatele obținute sînt consemnate în ultima parte a articolului. Cele 13 figuri arată fiecare etapă importantă a măsurărilor și a rezultatelor experimentale.

Se fac recomandări teoretice și practice privitoare la influența condițiilor de alimentare asupra performanțelor ventilatoarelor folosite în cazul motoarelor electrice de mare putere.

A.C.

CZ 621.316 *Distribuția și reglajul energiei electrice*

CZ 621.316.92/93

Sobonnadière, I.C. **Studiul supratensiunilor la reclanșarea liniilor lungi trifazate cu ajutorul unui calculator numeric** (Étude à l'aide d'une calculatrice numérique des surtensions d'enclenchement des lignes longues triphasées). In: Revue Générale de l'Électricité, tom. **77**, nr. 3 1968, p. 297—304, 10 fig., 10 ref. bibl.

După prezentarea problemei privind folosirea calculatoarelor la determinarea supratensiunilor se arată că punerea sub tensiune a liniilor lungi se face considerînd că puterea centralei nu este infinită.

Dacă închiderea polilor este sincronă, se poate utiliza o metodă analitică bazată pe transformata Laplace. Dacă închiderea polilor nu este sincronă, se recurge la o metodă clasică aplicată curent în asemenea cazuri.

Se mai studiază influența impedanței sursei.

Studiul anclanșării sincrone și nesincrone a polilor se face arătîndu-se schemele de principiu ale instalațiilor electrice și scriindu-se ecuațiile de legătură între curenți și tensiuni. Sistemul de ecuații diferențiale obținut este rezolvat pe cale matricială, ținînd seamă de condițiile la limită impuse.

Se trasează curbele de variație a diferențelor de potențial la bornele de ieșire ale schemei logice, ținîndu-se seamă atît de valorile calculate, cît și de cele obținute cu ajutorul unui analizor transistorizat.

Se indică organizarea programului de încercare, rezultatele parțiale și totale obținute prin calcul și cu ajutorul calculatorului cifric folosit la studiul supratensiunilor de reanclanșare a liniilor electrice lungi.

A.C.

CZ 621.316.57.024.027.8

Härtel, H., King, D., Marx, E., Möllenhoff, K. **Dezvoltarea și încercarea unui întreruptor de probă pentru transmiterea prin curent continuu de înaltă tensiune** (Entwicklung und Erprobung eines Versuchsschalters für die Hochspannungs — Gleichstromübertragung). In: ETZ—A, nr. 18, august 1968, p. 421—423, 7 fig.

Față de trecut, cînd curentul continuu de înaltă tensiune se utiliza doar pentru legătura între două puncte, rețelele complicate ale viitorului cu acest fel de curent necesită întreruptoare speciale, care în stadiul actual al tehnicii să poată produce la curenți de cîțiva kA contratensiuni de circa 100 kV. Problemele rezultate dintr-o astfel de întrerupere au fost rezolvate și demonstrate de către un dispozitiv construit la Universitatea tehnică din Braunschweig. În acest dispozitiv arcul de întrerupere este răcit intensiv printr-un curent rapid de ulei. Pentru a se face față și energiilor (cîțiva MWs), care se iau în considerație în momentul întreruperii, institutului de cercetări de 400 kV din Mannheim — Rheinau a construit în Aprilie 1968 un dispozitiv de încercare descris în continuare. Într-o secțiune este prezentată construcția întreruptorului propriu-zis (contactele, circulația uleiului etc.), iar apoi — din alte două figuri — se deduce întregul dispozitiv de întrerupere compus din două întreruptoare din condensator, rezistența ohmică, spații disruptive etc,, arătîndu-se și rolul fiecărui element la întreruperea curentului.

Se realizează apoi experiența în diferite combinații (cu unul sau două întreruptoare), în funcție de intensitatea curenților (970 A, 1,47 kA, 2,3 kA și 3,8 kA), arătîndu-se de fiecare dată și graficele curenților și tensiunilor din momentul întreruperii, explicîndu-se intervenția fiecăruia din elementele (rezistențe, condensatoare etc.), care compun întregul dispozitiv de întrerupere. În concluzie se arată că o combinație a mai multor aparate, funcționînd după aceleași principii, permit utilizarea dispozitivului la intensități și tensiuni mult mai ridicate decît cele din experiențele descrise.

Gh. C.

CZ 621.317 *Tehnica măsurilor electrice. Aparate de măsură*

CZ 621.317.3.029.3:537.32

Buchy, F. **Determinarea caracteristicilor electrice a semiconductoarelor cu ajutorul măsurărilor în hiperfrecvență** (Détermination des caractéristiques électriques des semi-conducteurs à l'aide de mesures en hyperfréquences). In: Revue Générale de l'Électricité, tom **77**, nr. 7—8 iulie-august 1968, p. 709—718, 11 fig., 9 ref. bibl.

Se studiază în detaliu posibilitatea de măsurare în hiperfrecvență a constantelor dielectricilor și a conductivității eșantioanelor de semiconductoare. Confruntarea datelor experimentale permite autorului să sublinieze avantajele și dezavantajele metodelor folosite. Totodată se precizează

domeniul adecvat fiecărei metode, astfel încît eroarea de măsură să fie practic neglijabilă.

După încadrarea problemei se fac o serie de considerații teoretice asupra bazelor fizice și matematice ale fenomenelor ce apar.

Se prezintă apoi metodele de măsură și se descriu elementele din diverse scheme utilizate la experimentări.

Rezultatele sînt consemnate sub formă de diagrame. Autorul se referă la două metode de măsură, și anume: ghidul într-o lamă mediană și metoda cavității rezonante.

Pentru fiecare caz se discută și structura subschemelor folosite și a elementelor utilizate la măsurări.

A.C.

CZ 621.317.734.087.6

Bizouard, M., Cerisier, P. și Gasquet, B. **Aparat de înregistrare a conductivității electrice și temperaturii** (Appareil d'enregistrement de la conductivité électrique et de la température). În: Revue Générale de l'Électricité, tom **77**, nr. 7—8, iulie-august 1968, p. 697—702, 6 fig, 4 ref. bibl.

Se descrie dispozitivul de înregistrare a conductivității materialelor solide și lichide într-o gamă largă a temperaturii pînă la 900 °C și pentru rezistențe cuprinse între 10 și 10^7 Ω. Aparatul înregistrează variații mici ale rezistențelor materialelor supuse unei temperaturi variabile.

După prezentarea și comentarea schemei de principiu a aparatului de măsură se descrie metoda celor patru electrozi și se specifică relațiile analitice care servesc la descrierea fenomenelor.

Partea a doua a articolului tratează elementele de structură a aparatului, cum ar fi: amplificatorul și divizorul de tensiune.

În ultimul paragraf autorul descrie celula de măsură. Astfel se precizează materialul folosit pentru confecționare, forma sondelor și a celulei de măsură.

Materialul este însoțit atît de o serie de relații analitice, cît și de diagrame pentru a înlesni urmărirea fenomenelor fizice.

Totodată se prezintă părțile constitutive ale aparatului și se arată domeniul de folosire în practică.

A.C.

CZ 621.9.044

Böttger, O. și Franke, H. **Viteza de deformare și constantele materialului la deformația magnetică** (Verformungsgeschwindigkeit und Werkstoffkonstanten beider magnetischen Verformung). In: ETZ—A, nr. 18, august 1968, p. 424—427, 5 fig., 4 graf., 1 tab.

Deformația magnetică se bazează pe acțiunea reciprocă a curenților induși într-un material cu conductibilitate electrică și curentul (variabil în timp) care produce inducția. Pentru a demonstra viteza deformației autorii au fixat o bobină plată, străbătută de curent electric, pe o placă metalică, ce urma să fie deformată. Bobina (spirala) era alimentată de la o baterie de condensatoare cu frecvența de 17 kHz reglabilă pînă la 3 kHz. Pentru o înregistrare cît mai precisă a deformărilor plăcii metalice s-a renunțat la vechile sisteme cu benzi de alungire, cu contacte etc. și s-a utilizat un sistem optic cu înregistrări prin mijlocirea unui oscilograf, asigurîndu-se astfel și raportul (variația în timp) dintre curentul primar (cîmpul magnetic deformant) și deformația plăcii experimentate. Sînt redate rezultatele (oscilogramele) unei experiențe cu tablă de aluminiu de 0,5 mm grosime. Patru diferite grafice arată apoi influențele grosimei tabelei metalice, deformația în lungime în funcție de energia electrică, de frecvența curentului etc. La tabla de fier alungirea este mai mică decît la aluminiu. Se descrie pe scurt și deformația produsă prin scîntei (în aer sau în apă), arătîndu-se diferența deformărilor față de utilizarea bobinei spirale de mai sus. Urmează considerații de natură electrică privind fenomenul deformării și comparația dintre sistemul cu bobină, respectiv cel prin scîntei. Diferitele experiențe au arătat, limita pînă la care deformarea magnetică rămîne economică, prin faptul că aci puterea electrică se poate localiza doar pentru acest proces tehnologic și că se poate renunța la un mediu de transmitere.

Gh. C.

CRONICĂ

TÎRGUL DE PRIMĂVARĂ DE LA LEIPZIG — 1969

La Tîrgul de primăvară din acest an vor participa peste 10 000 de expozanți din 65 țări, pe o suprafață de expunere de aproximativ 350 000 metri pătrați.

Un element important îl va constitui lărgirea suprafețelor de expunere pentru branșele care determină în însemnată măsură ritmul revoluției tehnico-științifice. Astfel, se va mări suprafața de expunere pentru mașini-unelte cu 3 000 metri pătrați, pentru mașini textile cu 2 500 metri pătrați, pentru mașini ale industriei alimentare cu 1 500 metri pătrați, pentru electronica transmisiilor cu 1 000 metri pătrați suprafața netă.

Totodată va pune în evidență succesele pe care le-a obținut R.D.G. în perfecționarea și dezvoltarea industriei și întregii economii, ca și stăpînirea proceselor revoluției tehnico-științifice.

Tîrgul va fi caracterizat prin prezența mai largă a țărilor socialiste cu expoziții colective cuprinzătoare. Din partea unui număr de 12 state socialiste vor participa aproximativ 250 societăți de comerț exterior, întreprinderi de export și uniuni economice, care reprezintă mai multe mii de întreprinderi productive, pe o suprafață totală de aproximativ 38 000 metri pătrați.

Țara noastră va participa la Tîrgul de primăvară de la Leipzig din acest an pe o suprafață de 1 000 metri pătrați, expunînd următoarele produse mai importante: strung-carusel SC-1600 M, freză universală EV-400, betoniere U-100 și indes-75 cu motor termic, micromotoare U-33, U-35, MS-6, EA-1, instalații pentru foraje geologice SG-300 Diesel, instalații pentru preîntîmpinarea erupției-orizontale 7″—1/6 × 350, tractoare U-650 și S-651 cu buldozer, precum și unele produse ale industriei textile și alimentare.

Prin larga participare a expozanților și gama sporită de produse ce vor fi prezentate la Tîrgul de primăvară de la Leipzig din acest an, se va aduce o însemnată contribuție la adîncirea colaborării și relațiilor economice între statele și organizațiile economice și comerciale participante.

Ing. *M. Dumitriu*

SCURTE ŞTIRI

Construcţia unei noi linii de prelucrare a aluminiului cu echipament electric livrat de firma GEC — AEI Control and Rectifiers Ltd. a început în Canada. Spre deosebire de alte două linii canadiene construite de aceeaşi firmă în 1957—1959 cu redresoare cu vapori de mercur, alimentarea noii linii în curent continuu este realizată cu redresoare semiconductoare de siliciu. Toată instalaţia are o putere de 148 200 kW, 156 000 A, la 950 V şi a fost executată în Anglia de fabricile din Rugby, Manchester, Willesden şi Bridgend.

Din 1950 de cînd firma se ocupă de instalaţii pentru prelucrarea aluminiului, a livrat echipament de redresare pentru Norvegia, Franţa, Camerun, India, Australia şi Canada, reprezentînd 90% din exportul britanic din acest domeniu.

Din: CEC — AEI Control Rectifiers Ltd. Press Release, 26 septembrie 1968.

Sudura pieselor deosebit de mici (pînă la 0,8 mm Ø) o realizează un aparat construit în Anglia, care produce căldura necesară frecînd sub presiune una de alta cele două suprafeţe ce urmează a fi sudate. Acest microaparat de sudură prin fricţiune sudează şi metale diferite, cum ar fi aluminiu cu cupru, cu oţel inoxidabil sau cu nichel.

Din: ETZ-B, nr. 16, 1968.

Consumul de huilă necesar producerii unui kWh a scăzut tot mai mult în decursul anilor. Valorile respective sînt: 0,7 kg în 1938, 0,654 kg în 1948, 0.414 kg în 1959, 0,368 kg în 1964, 0,351 kg în 1966 şi 0,342 kg în 1967.

Din: ETZ — B, nr. 16, 1968.

O celulă fotoelectrică, compusă dintr-un film subţire de sulfură de zinc pe un substrat ceramic, reacţionează doar la razele ultraviolete. Are o rezistenţă de 1 GΩ la lungimea de undă de 370 nm, de 0,5 GΩ la 350 nm, însă doar de 1 MΩ la iluminatul normal al încăperilor. Cu ajutorul acestei celule se pot realiza, printre altele, aparate care măsoară intensitatea efectului provocat de razele ultraviolete la persoanele care se expun razelor solare.

Din: ETZ—B, nr. 16, 1968.

Cu ultrasunete se cercetează anual circa 20 000 km de cale ferată din punct de vedere al defectelor de material al şinelor. Din distanţa de mai sus 14 000 km revine R.F.G.

Din: ETZ-B, nr.18 — 19, 1968.

Laserul cu impuls (din bioxid de carbon), cel mai puternic din lume, care pe durata unei milionimi de secundă produce puterea de 250 kW şi o temperatură de 25 milioane °C, este instalat la universitatea Essex din Anglia.

Din: ETZ-B, nr. 18 — 19, 1968.

Pentru noua sa lampă fluorescentă de 40 W „Sylvania", indică 32 000 ore de ardere (aproape 4 ani) la regim continuu, respectiv 15 500 ore la regim intermitent.

Din: ETZ-B, nr. 18 — 19, 1968.

Lămpi electrice cu un înveliş protector din silicon de cauciuc sînt oferite de către General Electric. Învelişul, care nu absoarbe decît 5% din lumină, protejează lampa contra solicitărilor termice (de exemplu, stropituri în timpul lucrărilor de sudură), de ploaie şi zăpadă care ar cădea pe lampa aprinsă. Dacă lampa se sparge sînt reţinute cioburile de sticlă. Aceste lămpi se construiesc pînă la 200 W.

Din: ETZ- B, nr.18 — 19, 1968.

Pentru raţionalizarea construcţiei transporturilor în Anglia se introduc bobinaje din folii şi benzi de aluminiu, care se pot înfăşura cu ajutorul unor maşini semiautomate. Prototipurile transformatoarelor de 500 kVA fiind supuse la încercările de scurtcircuit, conform prescripţiunilor KEMA (BSS 171), producţia acestor transformatoare a şi început şi se pregăteşte fabricaţia în serie (pe bandă).

Din: ETZ :-B, nr. 6, 1968.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. Pl. Andronescu; prof. dr. doc. şt. tehn. I. S. Antoniu, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. şt. tehn. A. Avramescu — redactor responsabil; ing. V. Bunea; ing. V. Ciofu; prof. dr. doc. şt. tehn. V. Corlăţeanu; ing. Şt. Grosu; prof. dr. G. Hortopan — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. Lazaride; conf. ing. D. F. Lăzăroiu; ing. M. Opaschi; ing. A. Popa; prof. ing. Cristiana Popescu; ing. Vl. Popovici; acad. prof. dr. doc. şt. tehn. ing. R. Rădulet; ing. R. Vlădoianu.

Revista "ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare şi publicaţii tehnice al M.I.C.M., cu sediul în Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, Sectorul 1. Telefon redactor şef: 14.90.27. Redacţia, Bucureşti, str. Ion Ghica, nr. 3, sector IV, telefon secretar general de redacţie: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare comenzi-difuzare, telefon: 13.84.16, 16.21.70/173. Instituţiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 026002 Banca Naţională a Republicii Socialiste România — Filiala Sectorul 1, Bucureşti. Tarif pentru instituţii şi întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5.

Tiparul: Întreprinderea poligrafică "Informaţia", Bucureşti str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 6196.

Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 5/8569/1968.

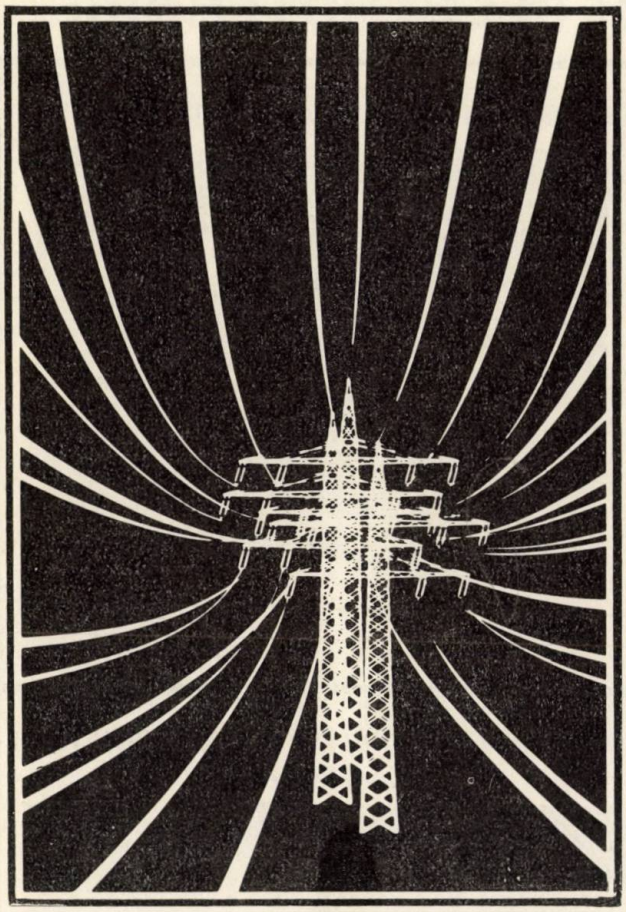
41 400

1969

sîmbătă, 26 aprilie—duminică, 4 mai

Electrotehnica

la Tîrgul din Hannover



Tîrgul din Hannover: imagine a ofertei concentrate pentru branșa dv. ● nepreţuită privire de ansamblu asupra pieţei ● produse, materiale, noutăţi ● achiziţii bune ● barometru al dezvoltării economice ● informaţii, contacte ● mai multe cunoştinţe — mai multe posibilităţi. Trebuie să veniţi!

TÎRGUL DIN HANNOVER

Piaţa economică a lumii noastre

Informaţii: DEUTSCHE MESSE-UND AUSSTELLUNGS – AG, D 3000 HANNOVER, MESSEGELÄNDE, TEL.: ** (0511) 891

PUBLICOM

SOMMAIRE

CD 621.3.018.7 :517.512.2 :681.322

Manciu, T. : **L'élaboration du programme de l'analyse harmonique Thomson Runge pour les petits calculateurs électroniques.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 45—50

On rend actuelle, par une variante pour la nouvelle technique de calcul, la méthode numérique classique Thomson Runge pour la détermination des harmoniques des ondes de courant ou de tension non-sinusoïdale (déformées).

On obtient une grande accélération ainsi qu'une facilité de calcul en utilisant comme instrument de calcul le tableau des coefficients pour les résultats, tableau qui a été précalculé par l'auteur et qui a paru in extenso dans notre revue.

CD 621.313.1.045.8.001.24

Wächter, T. : **La méthode de calcul pour le remplissage des encoches des machines électriques bobinées à conducteurs ronds.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 50—52

Le caractère conventionel du facteur de remplissage, utilisé actuellement lors de l'élaboration des projets, n'offre pas au technicien une sûreté suffisante dans tous les cas. C'est pour cette raison que l'on recommande l'utilisation concomitante d'un facteur de placement, défini et calculé dans le présent ouvrage.

On donne deux exemples de calcul et l'on démontre leur bonne concordance avec la pratique.

CD 621.315.1.015.4.027.88

Iordănescu, I. et *Iacobescu, Gh.* : **L'effet Ferranti et son influence sur les surtensions stabilisées, dans les lignes de très haute tension.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 52—57

L'effet Ferranti se manifeste dans une mesure de plus en plus grande dans les lignes électriques, lors du passage aux trés hautes tensions. On constate cette influence pendant les manoeuvres de couplage ainsi que pendant celles de découplage de ces lignes.

Lors des tensions de 400 kV et de 700 kV, quand peuvent apparaître des surtensions stabilisées de fréquence industrielle dues à l'effet Ferranti, surtensions qui peuvent péricliter l'isolation, il est nécesaire de prévoir des bobines à réactance pour la compensation transversale.

CD 621.315.616.76.048.82.004.14.551.571

Pîrligras Ecaterina, Kemeny Rozalia, Teodorescu Minodora et *Antohi, C.* : **Certains aspects concernant l'utilisation des résines époxydes pour l'imprégnation des équipements électrotechniques destinés à fonctionner dans un milieu chaud-humide.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p 57—60

Afin d'utiliser les résines époxydes pour imprégner les enroulements intégrés dans les moteurs ou dans des appareils sollicités à la chaleur humide, les auteurs ont effectué des essais sur des bobines et sur des motorettes ainsi que sur des produits finis impregnés avec de la résine époxyde. On a constaté que ces materiaux d'imprégnation — qui présentent l'avantage d'une technologie plus simple — peuvent être utilisés pour les produits électrotechniques tropicalisés, parce qu'ils assurent des valeurs correspondantes en se qui concerne la résistance de l'insolation et l'essai à la tension.

CD 621.315.624.027.8.004.64

Vascan, Th. et *Andreescu, M.* : **La contamination des isolateurs de haute tension. Méthodes d'essai.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februarie 1969, p. 61—73

Après une présentation succiente de la contamination et dex facteurs dont dépend l'amoindrissement de la tension de contournement des isolateurs, on décrit le mécanisme du contournement au-dessous d'une couche étrangère ainsi que les méthodes d'évaluation pendant l'exploitation et en laboratoire, du comportement des isolateurs contaminés. On présente ensuite, en détail, la méthode de contamination artificielle à l'aide du brouillard salin, méthode qui a été choisie pour les expériences entreprinses à l'Institut de recherches I. C. P. E., et les installations technologiques nécessaires pour produire le brouillard salin et les appareils de mesure spécifiques à ces essais.

CD 621,372,43.001.2 :538.652

Niculescu, T. et *Simonescu Marga* : **Précisions concernant l'élaboration des projets et la construction des lignes de retardement magnétostrictives.**

Electrotehnica **17**, nr. 2, februare 1969, p. 73—78

Discussions

Eleectrotehnica **17**, nr. 2, februare 1969, p. 78—79

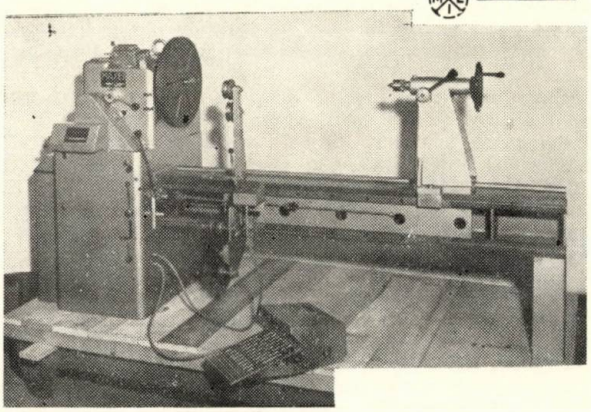
COMPTES-RENDUS ● EXTRAITS ● BREVES NOUVELLES

MAXEI

FURNIZEAZĂ TOATE

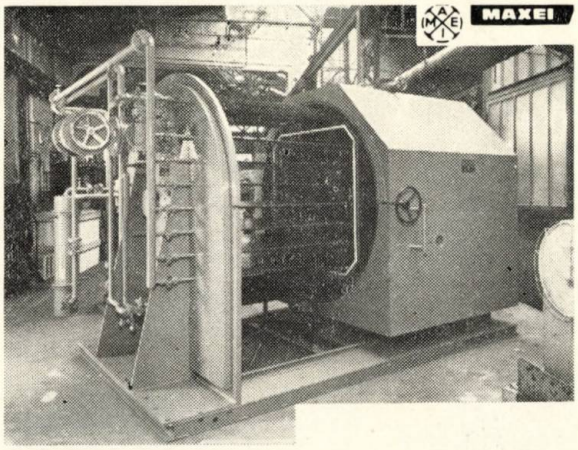
MAŞINILE ŞI INSTALAŢIILE SPECIALE PENTRU CONSTRUCŢII ELECTROTEHNICE

BOBINARE



9815 Strung automat pentru bobinat, tip 22 PG

USCARE ÎN MEDIUL AMBIANT ŞI ÎN VID

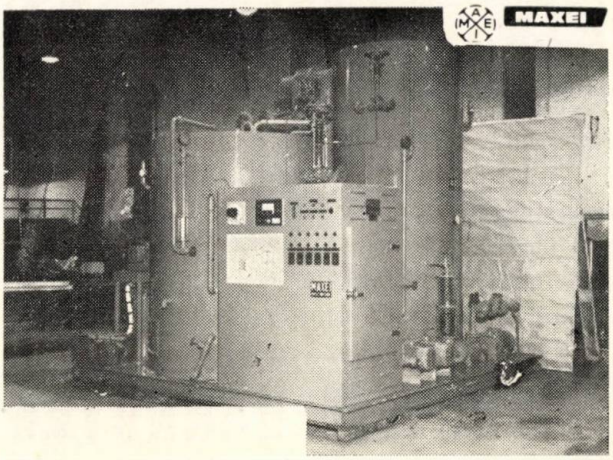


10030 Etuvă specială pentru uscarea condensatoarelor

IMPREGNARE

9668 Atelier pentru impregnare

TRATAREA ULEIURILOR ŞI DIELECTRICILOR CLORURAŢI



10241 Instalaţie în trei trepte, filtrare, deshidratare, degazare

Material pentru turnătorii (procedeul Croning)

Instalaţie pentru prepararea nisipurilor, maşini pentru suflat miezurile şi cochiliile

MAXEI 25 ● Boulevard de Courbevoie ● 92 — NEUILLY SUR SEINE

S. A. ARRAS MAXEI ● Sediul social (62) ARRAS

ANEXA la articolul „Programarea analizei armonice Thomson Runge la calculatoare electronice mici" de T. Manciu

Rezumarea ordonatelor grafice

Y_k	1 0,174	2 0,342	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Y_{2p-k}	36 0,000	35 0,174	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	
S_k	0 0	1 0,348	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11							
S_{p-k}	18 0	17 0,348	16	15	14	13	12	11	10										
D_k		1 0,000	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11							
D_{p-k}		17 0,000	16	15	14	13	12	11	10										

TABELA REZUMATIVA

$S_{s.k}$	0 0	1 0,696	2	3	4	5	6	7	8	9
D_{sk}	0 0	1 0,0001	2	3	4	5	6	7	8	9 —

D_{dk}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S_{dk}	1	2	3	4	5	6	7	8	9

TABELA ARMONICELOR

Bn par ; $\Sigma S_{sk} X$ ↓ cos K.n. 10°

B_0 ;	+1,000	+1,000	+1,000	+1,000	+1,000	+1,000	+1,000	+1,000	+1,000	+1,000 : 36 = 0,6351
B_{18} ;	+1,000	-1,000	+1,000	-1,000	+1,000	-1,000	+1,000	-1,000	+1,000	-1,000 : 36 = ...
B_2 ;	+1,000	+0,940	+0,766	+0,500	+0,174	-0,174	-0,500	-0,766	-0,940	-1,000 : 18 = ...
B_{16} ;	+1,000	-0,940	+0,766	-0,500	+0,174	+0,174	-0,500	+0,766	-0,940	+1,000 .
B_4 ;	+1,000	+0,766	+0,174	-0,500	-0,940	-0,940	-0,500	+0,174	+0,766	+1,000 .
B_{14} ;	+1,000	-0,766	+0,174	+0,500	-0,940	+0,940	-0,500	-0,174	+0,766	-1,000 .
B_6 ;	+1,000	+0,500	-0,500	-1,000	-0,500	+0,500	+1,000	+0,500	-0,500	-1,000 .
B_{12} ;	+1,000	-0,500	-0,500	+1,000	-0,500	-0,500	+1,000	-0,500	-0,500	+1,000 .
B_8 ;	+1,000	+0,174	-0,940	-0,500	+0,766	+0,766	-0,500	-0,940	+0,174	+1,000 .
B_{10} ;	+1,000	-0,174	-0,940	+0,500	+0,766	-0,766	-0,500	+0,940	+0,174	-1,000 .

An par ; $\Sigma D_{dk} X$ ↓ sin k.n. 10°

A_2 ;	+0,342	+0,643	+0,866	+0,985	+0,985	+0,866	+0,643	+0,342	0 : 18 = ...
A_{16} ;	+0,342	-0,643	+0,866	-0,985	+0,985	-0,866	+0,643	-0,342	0 : 18 = ...
A_4 ;	+0,643	+0,985	+0,866	+0,342	-0,342	-0,866	-0,985	-0,643	0 .
A_{14} ;	+0,643	-0,985	+0,866	-0,342	-0,342	+0,866	-0,985	+0,643	0 .
A_6 ;	+0,866	+0,866	0	-0,866	-0,866	0	+0,866	+0,866	0 .
A_{12} ;	+0,866	-0,866	0	+0,866	-0,866	0	+0,866	-0,866	0 .
A_8 ;	+0,985	+0,342	-0,866	-0,643	+0,643	+0,866	-0,342	-0,985	0 .
A_{10} ;	+0,985	-0,342	-0,866	+0,643	+0,643	-0,866	-0,342	+0,985	0 .

Bm impar ; $\Sigma D_{sk} X$ ↓ cos k.m. 10°

B_1 ;	+1,000	+0,985	+0,940	+0,866	+0,766	+0,643	+0,500	+0,342	+0,174	0 : 18 =
B_{17} ;	+1,000	-0,985	+0,940	-0,866	+0,766	-0,643	+0,500	-0,342	+0,174	0
B_3 ;	+1,000	+0,866	+0,500	0	-0,500	-0,866	-1,000	-0,866	-0,500	0
B_{15} ;	+1,000	-0,866	+0,500	0	-0,500	+0,866	-1,000	+0,866	-0,500	0
B_5 ;	+1,000	+0,643	-0,174	-0,866	-0,940	-0,342	+0,500	+0,985	+0,766	0
B_{13} ;	+1,000	-0,643	-0,174	+0,866	-0,940	+0,342	+0,500	-0,985	+0,766	0
B_7 ;	+1,000	+0,342	-0,766	-0,866	+0,174	+0,985	+0,500	-0,643	-0,940	0
B_{11} ;	+1,000	-0,342	-0,766	+0,866	+0,174	-0,985	+0,500	+0,643	-0,940	0
B_9 ;	+1,000	0	-1,000	0	+1,000	0	-1,000	0	+1,000	0

Am impar ; $\Sigma S_{dk} X$ ↓ sin k.m. 10°

A_1 ;	+0,174	+0,342	+0,500	+0,643	+0,766	+0,866	+0,940	+0,985	+1,000 : 18 = ...
A_{17} ;	+0,174	-0,342	+0,500	-0,643	+0,766	-0,866	+0,940	-0,985	+1,000 .
A_3 ;	+0,500	+0,866	+1,000	+0,866	+0,500	0	-0,500	-0,866	-1,000 .
A_{15} ;	+0,500	-0,866	+1,000	-0,866	+0,500	0	-0,500	+0,866	-1,000 .
A_5 ;	+0,766	+0,985	+0,500	-0,342	-0,940	-0,866	-0,174	+0,643	+1,000 .
A_{13} ;	+0,766	-0,985	+0,500	+0,342	-0,940	+0,866	-0,174	-0,643	+1,000 .
A_7 ;	+0,940	+0,643	-0,500	-0,985	-0,174	+0,866	+0,766	-0,342	-1,000 .
A_{11} ;	+0,940	-0,643	-0,500	+0,985	-0,174	-0,866	+0,766	+0,342	-1,000 .
A_9 ;	+1,000	0	-1,000	0	+1,000	0	-1,000	0	+1,000 .

Sinteză și mărimi caracteristice

$tg\ \varphi_2 = -B_2/A_2 = \ldots \varphi_2 = \ldots$	$\varphi_2/2 = \ldots$	$\sqrt{A_2^2 + B_2^2} = C_2 = \ldots$	$tg\ \varphi_1 = -B_1/A_1 = \ldots \varphi_1 = \ldots$
$tg\ \varphi_4 = -B_4/A_4 = \ldots \varphi_4 = \ldots$	$\varphi_4/4 = \ldots$	$\sqrt{A_4^2 + B_4^2} = C_4 =$	$-B_3/A_3 \quad \varphi_3 =$
$-B_6/A_6 = \ldots$	$\ldots$	$C_6 =$	$-B_5/A_5$
$-B_8/A_8 =$		$C_8 =$	$-B_7/A_7$
$-B_{10}/A_{10} =$		$C_{10} =$	$-B_9/A_9$
$-B_{12}/A_{12} =$		$C_{12} =$	$-B_{11}/A_{11}$
$-B_{14}/A_{14} =$		$C_{14} =$	$-B_{13}/A_{13}$
$-B_{16}/A_{16} =$		$C_{16} =$	B_{15}/A_{15}
		$C_{18} =$	B_{17}/A_{17}

$\varphi_1/1 = \ldots$ | $\sqrt{A_1^2 + B_1^2} = C_1 = \ldots$

$\varphi_3/3 =$

Desvoltarea: $y = Co + \sum_1^p Cn \sin. n\left(x - \frac{\varphi n}{n}\right) = \ldots$

Vrl. eficace: $C.ef = \sqrt{\frac{2Co^2 + C_1^2 + C_2^2 \ldots + C_{18}^2}{2}} = \ldots$

Rezid. def: $R_d = \sqrt{Cef^2 - \frac{C_1^2}{2}} = \ldots$ Coef. dist: $\delta = \frac{Rd}{Cef} \times 100 = \ldots$

TITLURI DOCUMENTARE

CZ 621.313 MAŞINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU ŞI ALTERNATIV. GENERATOARE. MOTOARE

CZ 621.313 :537.312.62

Kazovsky, E. J. **Intrebuinţarea supraconductoarelor în maşinile electrice.** În Elektrotech. Z. (ETZ-A) **89**, nr, 14, 5 iul 1968, p. 331 — 335, 5 fig., 3 tab., 9 ref. bibl.

CZ 621.313.333.048

Bernstein, L. M. ş. a. **Noi tipuri de izolaţii spiralate pentru înfăşurări de înaltă tensiune.** În Elektrotehnica **39**, nr. 3, martie 1968, p. 8 — 12, 4 fig., 7 ref. bibl.

CZ 621.314 TRANSFORMAREA ENERGIEI ELECTRICE. TRANSFORMATOARE. CONVERTIZOARE. REDRESOARE. COMUTATRICE

CZ 621.314.21+621.314.22.08 : 061.43(430—2.27),,1968"

Brandes, D. şi *Zahorka, R.* **Transformatoare de putere şi transformatoare de măsură.** În:Electrotech. Z. (ETZ-B) **20**, nr. 14, 12 iul 1968, p. 379 — 383, 15 fig.

CZ 621.314.5 :061.43(430 — 2.27) „1968"

Schwarz. G. H. şi *Kanngieser, W. K.* **Convertizoare statice de putere.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20**, nr. 14, 12 iulie 1968, p. 383 — 387, 7 fig.

CZ 621.315 TRANSMISIA ENERGIEI ELECTRICE. LINII AERIENE. CABLURI. CONDUCTOARE. MATERIALE IZOLANTE. MATERIALE DE INSTALAŢII

CZ 621.315.61.015.51

Benken, H. G. **Asupra rigidităţii dielectrice de joncţiune între materialele izolante solide.** În : Electrotech. Z. (ETZ-A) **89**, nr. 15, 19 iul 1968, p. 356 — 361, 11 fig., 7 ref. bibl.

CZ 621.315.614.6

Bouvier, B. **Studiul complexului izolant hîrtie-ulei.** În: R.G.E. **77**, nr. 1, ian 1968, p. 39, 2 ref. bibl.

CZ 621.315.615.2.001.5

Thibault, N. **Mijloace fizico-chimice de studiere a îmbătrînirii uleiurilor.** În:R. G. E., **77**, nr. 1, ian 1968, p. 67 — 68.

CZ 621.315.616.96.015.51

Schühlein. E. **Tensiunea de străpungere în funcţie de grosimea izolaţiei maselor plastice din răşini epoxidice.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20**, nr. 13, 28 iunie 1968, p. 363 — 368, 3 fig., 1 tab., 13 ref. bibl.

CZ 621.315.616.96.015.51

Schiihlein, E. **Influenţa externă asupra tensiunii de perforare a izolaţiilor în răşini epoxidice.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20**, nr. 16, 9 aug 1968, p. 441 — 448, 4 fig, 17 ref. bibl.

CZ 621.315.673.1 :621.315.1

Denzel, P. şi *Kopaţz, M.* **Contribuţii la studiul cauzei exploziei în cutia de joncţiune a cablurilor de joasă tensiune.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-A) **89**, nr. 18, 30 aug 1968, p. 427 — 432, 9 fig., 8 ref. bibl.

CZ 621.315.687.2

* * * **Simplificarea realizării joncţiunilor la cabluri.** În : Electr. Rev. **182**, nr. 9, martie 1968, p. 327, 4 fig.

CZ 621.316 DISTRIBUŢIA ENERGIEI ELECTRICE. REŢELE. REDESCHIDEREA ŞI ÎNCHIDEREA CIRCUITELOR. REGLAREA MĂRIMILOR ELECTRICE. PROTECŢIA APARATELOR ŞI INSTALAŢIILOR

CZ 621.316.57.064.242.027.822

Andrä, Walter ş. a. **Incercări de rupere în reţele şi în laborator cu disjunctoare SF 6 pentru 220 kV.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-A) **89**, nr. 15, 19 iul 1968, p. 349 — 355, 8 fig., 1 tab., 10 ref. bibl.

CZ 621.316.98.001.4 :621.319.53

Tyszkiewicz, Z, şi *Kopczynski, L.* **Generatoare de impulsuri pentru încercarea paratrăsnetelor.** În : Przegl. Elektrotech. **44**, nr. 2, feb 1968, p. 72 — 78, 9 fig., 9 ref. bibl.

CZ 621.316.99

Ollendorf, F. **Probleme în legătură cu priza de pămînt a tubului.** În : Elektrotehnica **89**, nr. 17, 16 aug 1968, p. 410 — 413, 8 fig., 5 ref. bibl.

CZ 621.317 TEHNICA MĂSURĂRILOR ELECTRICE. APARATE DE MĂSURĂ

CZ 621.317.087.9 :621.398.087.9

Hifzig, K. **Punete de vedere asupra utilizării prelucrării digitale a măsurărilor.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20**, nr.17, 23 aug 1968, p. 471 — 474, 3 fig., 1 ref. bibl.

CZ 621.317.7. :621.3.085.7

Marek, E. **Compensarea temperaturii la aparatele de măsurat electrice.** În : Elektrotechnik **50**, nr. 5, mai 1968, p. 50 — 52, 7 fig.

CZ 621.319 CONDENSATOARE

CZ 621.319.4 : 621.315.614.015.5 :537.226

Nazarov, N. I. **Influenţa coeficientului de presare asupra rigidităţii dielectrice a condesatorului de forţă.** În : Elektricestvo **89**, nr. 1, ian 1968, p. 51— 54, 2 fig., 1 tab., 9 ref. bibl.

CZ 621.319.4.017 :621.311.6.024

Skopec, A. **Pierderile de energie la încărcarea condesatorilor de la o sursă de curent continuu.** În : Przegl, Elektrotechn. **44**, nr. 2, feb 1968, p. 62 — 63.

CZ 621.319.43

Guyonnet. J. **Noi tipuri de condensatoare ceramice cu performanţe îmbunătăţite pentru tensiuni continue înalte.** În : Electron. Industr., nr. 113, mai 1968, p. 369 — 373, 11 fig.

CZ 621.35 ELECTROCHIMIE

CZ 621.353 :621.355

Pinter, Jozsef. **Dezvoltarea tehnologiei de fabricaţie a acumulatoarelor şi elementelor useate.** În : Elektrotechnika **61**, nr. 3, martie 1968, p. 108 — 115, 9 fig., 5 tab.

CZ 621.353 :621.355

Major, Janos. **Dezvoltarea şi domeniile de folosire ale acumulatoarelor alcaline şi a elementelor useate.** În : Elektrotechnika **61**, nr. 3, martie 1968, p. 94—101, 10 fig., 9 tab., 3 ref. bibl.

CZ 621.355.002.2

Csorba, Lörinc. **Munca de cercetare şi sarcinile de viitor ale fabricii de acumulatoare.** În : Elektrotechnica **61**, nr. 3, martie 1968, p. 102 — 107, 4 fig., 2 tab., 6 ref. bibl.

CZ 621.355.7

Senyiei, Kalman. **Dezvoltarea construcţiei şi domeniile de utilizare ale acumulatoarelor cu acizi** : În : Elektrotechnika **61**, nr. 3, martie 1968, p. 85 — 93, 18 fig., 1 tab.

CZ 621.355.8

Kubes, Jaroslaw. **Noi acumulatoare alcaline.** În Elektrotechnik **23**, nr. 3, 1968, p. 75 — 79, 9 fig., 1 tab., 8 ref. bibl.

CZ 681.3 CALCULATOARE ELECTRONICE

CZ. 681.3 : 621.3 :061.43. 430 — 227„1968"

Rihaczek, K. **Prelucrarea electronică a datelor.** În : Eletrotech. Z. (ETZ-B) **20**, nr. 15, 26 iulie 1968, p. 426 — 429, 6 fig.

CZ 681.31.004

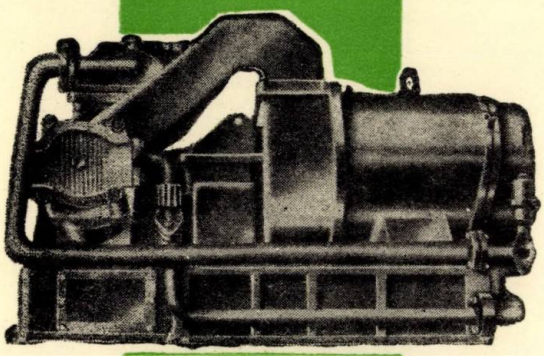
Blum, M. **Dimensionarea maşinilor cu ajutorul calculatoarelor electronice.** În : Information and Control **81**, nr. 3, sep 1967, p. 257 — 265, 10 ref. bibl.

Uzina de Motoare și Compresoare

Timpuri Noi

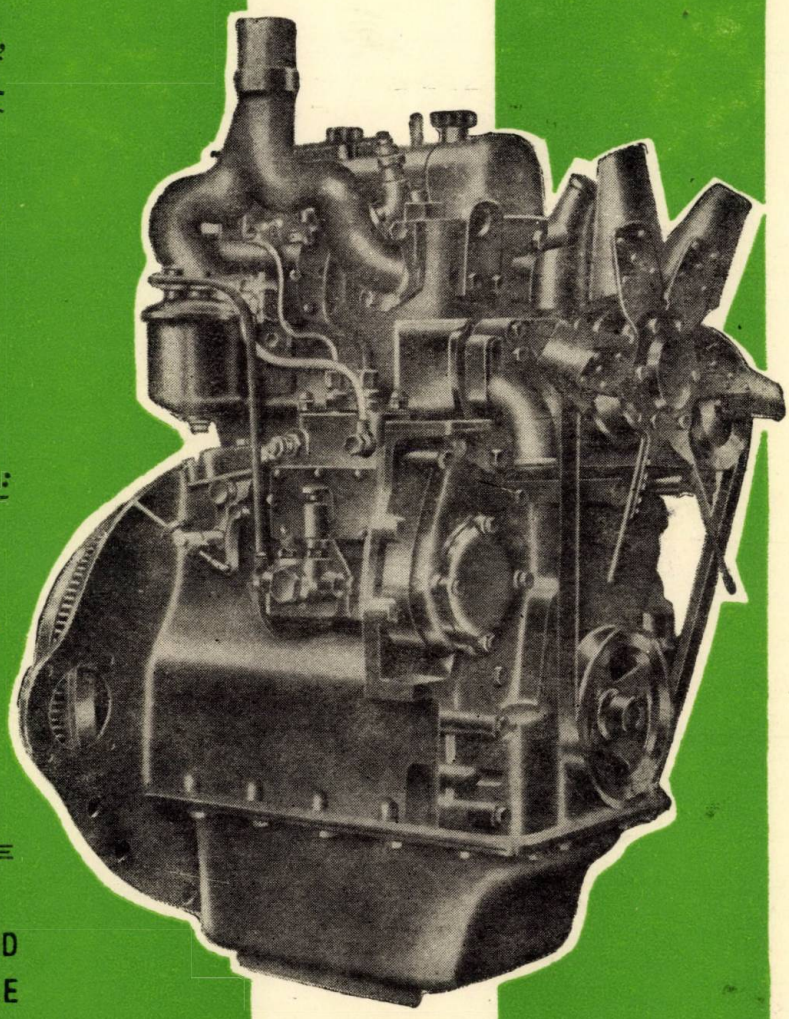
BUCUREȘTI

execută și livrează în țară și străinătate



COMPRESOARE DE AER CU PISTON, CU DEBITE PÎNĂ LA 10 m³/min ȘI PRESIUNI 4-14 kgf/cm² PENTRU:

- Locomotive
- Instalații petroliere
- Exeavatoare
- Automatizări
- Troleibuze
- Șantiere
- Garaje
- Vopsitorii



MOTOARE DIESEL CU PUTERI PÎNĂ LA 100 CP PENTRU:

- Utilaje de construcții
- Utilaje pentru agricultură
- Pompe de uz general și speciale
- Generatoare de c.a. și c.c.
- Motocare și motoridicătoare
- Ambarcațiuni
- Utilaje pentru silvicultură

PENTRU REZOLVAREA PROBLEMELOR DV. PRIVIND ANTRENAREA CU MOTOARE DIESEL INDUSTRIALE ȘI UTILIZAREA COMPRESOARELOR DE AER CU PISTON

CONSULTAȚI SPECIALIȘTII UZINEI „TIMPURI NOI"

INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

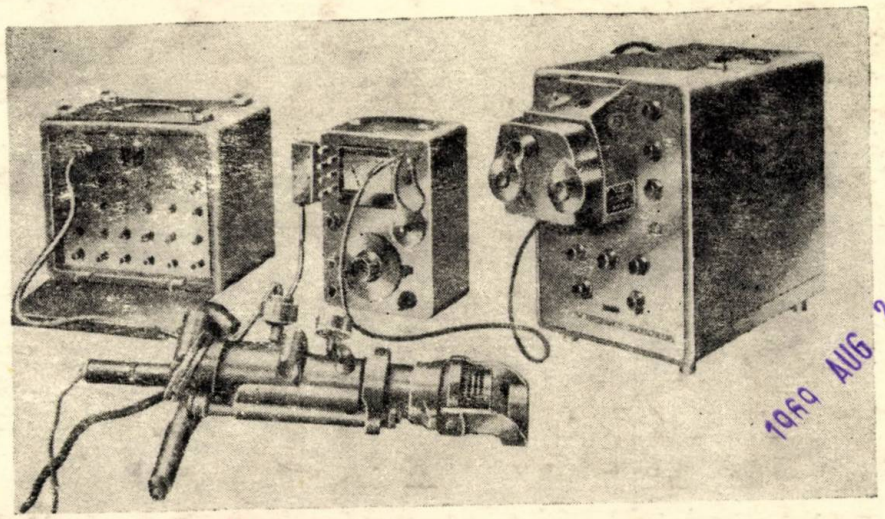
Din Bucureşti – Bd. T. Vladimirescu 45–47 — telefon 31.41.00

Электротехнический Научно-исследовательский и Проектный Институт.

Electrical Engineering and Research Institute

Forschungs-und Proiectierungsinstitut für die Elektroindustrie

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Électrotechnique



1969 AUG 22

Primeşte comenzi de cercetare şi proiectare, cu profil electrotehnic.

Institutul execută studii, încercări, omologări şi prototipuri din domeniul maşinilor şi transformatoarele electrice, aparatelor de joasă şi înaltă tensiune, acţionărilor electrice, climatizării produselor industriale, calculelor cu maşini electronice, materialelor electrotehnice.

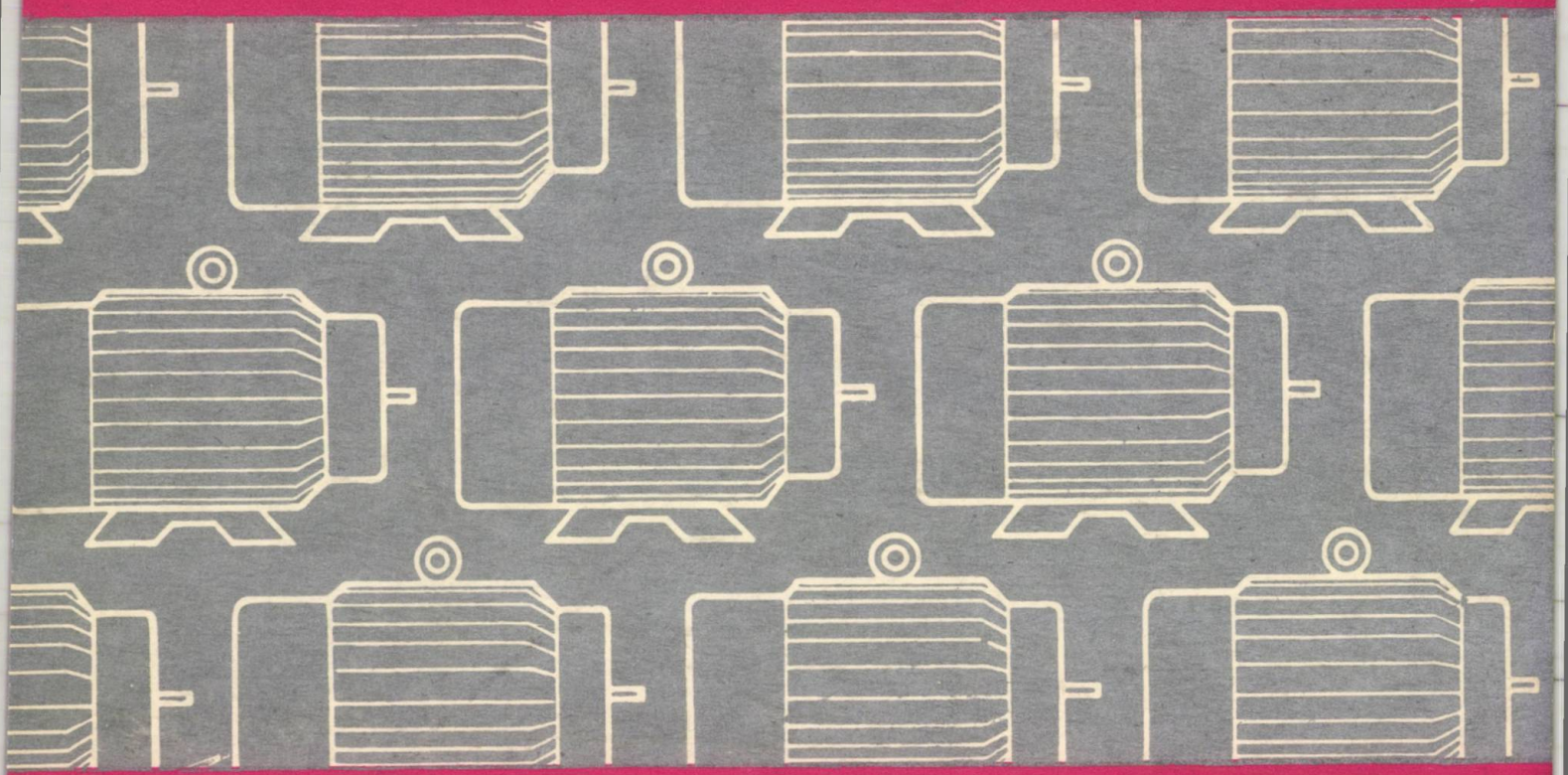
ICPE

E 2040

R

REFERATIVA

ELECTROTEHNICA



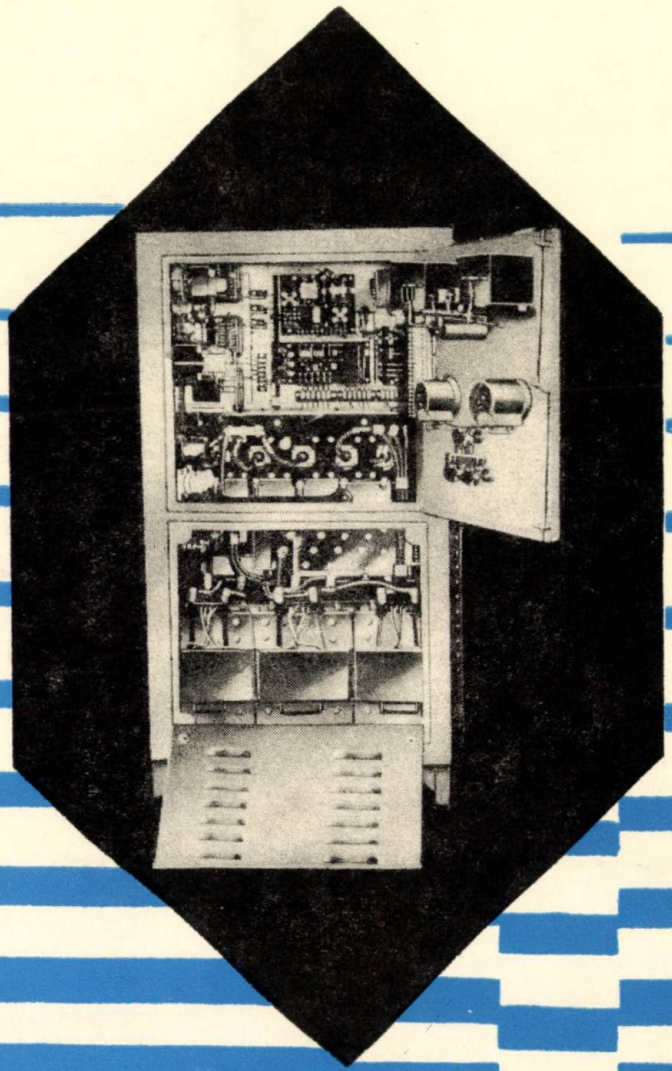
ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 17 • Nr. 3 • MARTIE 1969

3

ELECTROTEHNICA

REDRESOARE CU DIODE DE SILICIU PENTRU ÎNCĂRCAREA BATERIILOR DE ACUMULATOARE PENTRU ELECTROCARE

Încărcarea automată după curba IU
Comandă cu amplificatoare magnetice și transistoare
Tensiunea finală de încărcare reglabilă între 80 și 123 V
Curentul inițial de încărcare reglabil între 40 și 80 V



Bucuresti • Șos. Orhideelor, nr. 27 • Tel. 16.48.60

E 2040

ELECTROTEHNICA

Anul 17 Nr. 3, p. 85—124 martie 1969

CUPRINS

CZ 621.313.13.017.7 : 621.34

Bogoevici, N. : **Verificarea la încălzire a motoarelor electrice de acționare în cazul unor variații aleatorii staționare ale parametrilor de funcționare.**

Electrotehnica **17**, nr. 3, martie 1969, p. 85—89

Se expune o metodă de calcul privind verificarea la încălzire a motoarelor electrice de acționare cu caracteristici liniare în cazul cînd parametrii de funcționare prezintă variații cu caracter aleatoriu staționar. Pentru calculul mărimilor echivalente (curent, cuplu) se folosesc funcțiile de corelație, densitatea spectrală de putere și funcția de transfer a sistemului.

CZ 621.313.13.003.1

Țepeluș, P. : **Contribuții privind determinarea costului motoarelor electrice.**

Electrotehnica **17**, nr. 3, martie 1969, p. 89—97

Se prezintă formule generale și particulare pentru calculul motoarelor electrice în funcție de momentul lor nominal stabilite pe baza datelor din cataloagele de prețuri. Formulele permit stabilirea unei corelații între indicatorii naturali, concretizați prin parametri constructivi principali, indicatorul economic și factorii aleatorii, determinați de tehnologia de fabricație și alți factori sociali.

CZ 621.315.21.054.002 : 621.311.1 : 621.39

Cruceru, C. : **Tendințele actuale în construcția cablurilor electrice de forță și telecomunicații.**

Electrotehnica **17**, nr. 3, martie 1969, p. 98—105

Se prezintă tendințele actuale în construcția cablurilor electrice de forță și telecomunicații. Se arată tipurile de cabluri de forță și telecomunicații care se utilizează pe plan mondial, caracteristicile și domeniile lor de aplicație. Se prezintă apoi realizările obținute în industria de cabluri electrice din țara noastră, progresele înregistrate în acest domeniu, a tipurilor noi de cabluri asimilate, precum și cablurile și conductele indicate a fi asimilate în cadrul dezvoltărilor viitoare ale industriei de cabluri electrice din Republica Socialistă România.

CZ 621.315.614.73 : 621.315.616.96.002.4

Nicola, Gr. : **Influența finișului asupra proprietăților sticlotextolitului cu rășini fenolformaldehidice modificate.**

Electrotehnica **17**, nr. 3, martie 1969, p. 106—110

Se prezintă modul de obținerea unui nou tip de sticlotextolit electrotehnic cu rășină fenolformaldehidică realizat la Fabrica de cabluri și materiale electroizolante din București, precum și proprietățile acestuia în condiții normale, în timpul menținerii la temperatura de 155°C, umiditatea de 95% și în apă timp îndelungat. De asemenea se arată influența tratării cu finiș a țesăturii de sticlă asupra proprietăților finale ale sticlotextolitului.

CZ 621.318.521.004 : 537.321

Goldimberg, S. : **Relee termobimetalice diferențiale.**

Electrotehnica **17**, nr. 3, martie 1969, p. 111—119

Se expune principiul de funcționare al releelor termice diferențiale și se descriu două forme constructive.

Se pune de asemenea în evidență influența numărului de lamele bimetalice lucrînd pe o aceeași tijă integratoare asupra forței și săgeții active. În continuare se studiază reducerile de forță și săgeată în cazul lipsei unei faze, pe baza cărora se calculează elementele mecanice diferențiale.

În final se dă o fișă cu date tehnice ale noilor blocuri de relee fabricate în țară.

RECENZII 120
REFERATE 121—122
CRONICĂ 122—124
SCURTE ȘTIRI 124

Abonați-vă la reviste:
CONSTRUCȚIA DE MAȘINI
ELECTROTEHNICA
AUTOMATICA ȘI ELECTRONICA

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.313.13.017.7 : 621.34

Боговеич, М.: **Тепловые испытания приводных электродвигателей при случайных стационарных изменениях рабочих параметров**

Electrotehnica **17**, nr. 3, март 1969, стр. 85–89

Описан метод расчета теплового режима приводных электродвигателей с линейными характеристиками в том случае, когда рабочие параметры испытывают изменения случайно стационарного характера. Для расчета эквивалентных величин (ток, момент) применяются функции корреляции, спектральная плотность мощности и функция передачи системы.

ДК 621.313.13.003.1

Цепелуш, П.: **Определение стоимости электродвигателей**

Electrotehnica **17**, nr. 3, март 1969, стр. 89–97

Приводятся формулы для расчета электродвигателей в зависимости от их номинального момента установленные на основе данных, предисмотренных в прейскурантах. Формулы позволяют определить соотношения между естественными показателями, экономическими показателями и случайными факторами, обусловленными технологией производства и другими социальными факторами.

ДК 621.315.21.054.002 : 621.311.1 : 621.39

Кручеру, К.: **Актуальные тенденции в конструкции электрических силовых кабелей и кабелей дальной связи**

Electrotehnica **17**, nr. 3, март 1969, стр. 98–105

Описаны актуальные тенденции в конструкции электрических силовых кабелей и кабелей связи. Показаны различные типы этих кабелей, применяемых в мировой технике, характеристики и области их использования. Далее излагаются достижения румынской промышленности по производству электрических кабелей, прогресс, достигнутый в этой области, новые типы ассимилированных кабелей, а также кабелей, и проводов, предложенных для ассимиляции в рамках дальнейшего развития производства электрических кабелей в Социалистической Республике Румыния.

ДК 621.315.614.73 : 621

Никола, Гр.: **Влияние финиша (специальный лак) на свойства стеклотекстолита с модифицированными фенолформальдегидными смолами**

Electrotehnica **17**, nr. 3, март 1969, стр. 106–110

Приводится способ получения нового типа электротехнического стеклотекстолита фенолформальдегидными смолами, осуществленного на заводе кабелей, и электроизоляционных материалов в гор. Бухаресте, а также его свойства в нормальных условиях, в случае выдерживания при температуре в 155° С и влажности 95 % и в воде более продолжительное время.

Показано также влияние обработки финишем стеклянных тканей на окончательные свойства стеклотекстолита.

ДК 621.318.521.004 : 537.321

Гольдимберг, С.: **Дифференциальные термобиметаллические реле**

Electrotehnica **17**, nr. 3, март 1969, стр. 111–119

Изложен принцип работы дифференциальных термореле и описаны две конструктивные формы.

Отмечается также влияние количества биметаллических пластин при работе на том же интегрирующем стержне на активную силу и стрелу. В продолжение изучается понижение силы и стрелы в случае отсутствия одной фазы, и на этом основании вычисляются механические дифференциальные элементы.

В заключение дается карта с техническими данными новых блоков-реле румынского производства.

РЕЦЕНЗИИ 120

РЕФЕРАТЫ 121–122

ХРОНИКА 122–124

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ 124

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.313.13.017.7 : 621.34

Bogoevici, M. : **Die Erwärmungsprüfung der elektrischen Antriebsmotoren im Falle von aleatorischen konstanten Aenderungen der Betriebsparameter.**

Electrotehnica **17**, H. 3, März 1969, S. 85–89

Dargestellt wird eine Berechnungsmethode zur Erwärmungsprüfung der elektrischen Antriebsmotoren mit linearen Kennlinien für den Fall dass die Betriebsparameter Aenderungen mit aleatorisch konstanten Charakter zeigen. Für die Berechnung der äquivalenten Grössen (Strom, Drehmoment) verwendet man die Korrelationsfunktionen, die spektrale Leistungsdichte sowie die Uebergangsfunktion des Systems.

DK 621.313.13.003.1

Ţepeluş, P. : **Beiträge zur Feststellung der Kosten von Elektromotoren.**

Electrotehnica **17**, H. 3, März 1969, S. 89–97

Man bringt allgemeine und Sonderformeln zur Berechnung der Elektromotoren in Abhbängigkeit von ihrem Nenndrehmoment und dies auf Grund der Angaben von Preislisten. Die Formeln ermöglichen die Feststellung einer Beziehung zwischen den natürlichen Indikatoren, d.h. den konstruktiven Hauptparametern, dem wirtschaftlichen Indikator und den aleatorischen Faktoren, die durch die Herstellungstechnologie und andere soziale Faktoren bestimmt werden.

DK 621.315.21.054.002 : 621.311.1 : 621.39

Cruceru, C. : **Die jetzigen Bestrebnisse in der Herstellung der elektrischen Stark — und Schwachstromkabeln.**

Electrotehnica **17**, H. 3, März 1969, S. 98–105

Man bespricht die jetzigen Tendenzen bei der Herstellung der elektrischen Stark — und Schwachstromkabeln. Man zeigt die allgemein verwendeten Stark — und Schwachstromkabeltypen, ihre Eigenschaften sowie ihr Verwendungsgebiet.

Im Folgende zeigt man die bei uns in der elektrischen Kabelindustrie erzielten Leistungen, die Forschritte auf diesem Gebiete, die neuen assimilierten Kabeltypen sowie die Kabeln und Leistungen, die in der Rumänischen Sozialistischen Republik im Rahmen der künftigen Entwicklungen der elektrischen Kabelindustrie assimiliert werden sollen.

DK 621.315.614.73 :621.315.616.96.00.4

Nicola, Gr. : **Der Einfluss des Finish-Mittels auf die Eigenschaften des Glastextolytes mit modifizierten fenolformaldehydischen Harzen.**

Electrotehnica **17**, H. 3, März 1969, S. 106–110

Dargestellt wird die Erzeugung einer neuen Art von elektrotechnischen Glastextolyt mit fenolformaldehydischen Harzen in der Bukarester Fabrik für Kabeln und elektroisolierenden Stoffen sowie dessen Eigenschaften unter Normalbedingungen bei der Wirkung der Temperatur von 155°C, einer Feuchtigkeit von 95% und Liegens unter Wasser während längerer Zeit.

Ebenfalls wird der Einfluss der Bekandlung vom Glasgewebe mit dem „Finish " auf die Endeigenschaften des Glastextolytes gezeigt.

DK 621.318.521.004 : 537.321

Goldimberg, S. : **Diferentiale thermobimetallische Relais.**

Electrotehnica, **17**, H. 3, März 1969, S. 111–119

Es wird das Funktionierungsprinzip der thermischen Relais dargestellt, worauf zwei Konstruktive Formen beschrieben werden.

Ferner wird der Einfluss der Anzahl der bimetalleschen Lamellen hervorgehoben, der auf die aktive Kraft und Biegung derselben integrierenden Stange ausgeübt wird. Dann erörtert man die Reduzierungen der Kraft und der Biegung beim Ausfall einer Phase, auf deren Grund die mechanischen Differentialelemente berechnet werden.

Zum Schluss zeigt man einen Kontrollschein mit technischen Angaben der neuen im Lande hergestellten Relaisblocks.

BUCHBESPRECHUNGEN 120

REFERATE 121–122

CHRONIK 122–124

KURZNACHRICHTEN 124

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 nr. 3 București, 1969

Verificarea la încălzire a motoarelor electrice de acționare în cazul unor variații aleatorii staționare ale parametrilor de funcționare

NICOLAE BOGOEVICI* — Timișoara

CZ 621.313.13.017.7:621.34

În proiectarea acționării electrice a unei mașini sau instalații se execută, printre altele, și calculul de verificare la încălzire a motorului de acționare cu scopul ca, în timpul exploatării, acesta să funcționeze în condițiuni normale din acest punct de vedere.

În metodele folosite [1] pentru verificarea la încălzire a motoarelor electrice de acționare se ține seamă, în primul rînd, de regimul de funcționare al acestora care poate fi : continuu (de durată), intermitent sau de scurtă durată. În al doilea rînd, de condițiile de încălzire și răcire dependente de construcția motoarelor, precum și de temperatura mediului ambiant.

Într-un număr mare de cazuri concrete, motoarele electrice au un regim de funcționare continuu, dar cu unii parametri ca : tensiune, curent, cuplu, turație etc. variabili în timp. În unele situații, variația în timp a acestor parametri are caracter determinat, adică se desfășoară într-un mod cunoscut, așa cum este, de exemplu, variația în timp a cuplului rezistent la mașinile prevăzute cu mecanism bielă-manivelă (compresoare cu piston, războaie de țesut etc.). În alte situații însă variația în timp a unor parametri are caracter aleatoriu, care poate fi precizat numai sub aspect statistic, așa cum se întîmplă, de exemplu, cu variația tensiunii rețelei de alimentare a motoarelor, variația cuplului rezistent la unele tipuri de mașini etc.

În proiectare, pentru verificarea la încălzire a motoarelor electrice care funcționează în anumite condiții, se folosește frecvent [2] metoda mărimilor echivalente : curent echivalent, cuplu echivalent sau chiar putere echivalentă. Prin aceasta se înțelege determinarea valorii medii pătratice a mărimii respective și compararea ei cu valoarea nominală față de care trebuie să fie mai mică, cel mult egală.

În ipoteza că constanta de timp a încălzirii motorului are aceeași valoare ca și constanta de timp a răcirii și că aceste constante nu se modifică în timpul funcționării, valoarea echivalentă a mărimii variabile în timp $x\ (t)$ se calculează cu relația :

$$X_e = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [x(t)]^2\,dt} \leqslant X_N, \qquad (1)$$

unde T este perioada ciclului de variație, iar X_N este valoarea nominală a mărimii respective.

Avînd în vedere că, în general, motoarele electrice de acționare fac parte din sisteme automate, variația în timp a curentului, cuplului sau puterii motorului, considerînd acest parametru ca mărime de ieșire a sistemului automat, este determinată atît de variația în timp a mărimilor de intrare și perturbatoare, cît și de structura internă a sistemului. Astfel că, pentru a găsi variația în timp a mărimii de ieșire și a calcula după aceea valoarea echivalentă, este necesar să se scrie și să se rezolve ecuația diferențială a proceselor tranzitorii care au loc în sistem, ceea ce implică și cunoașterea expresiei analitice a mărimilor de intrare și eventual perturbatoare. Această cale nu este întotdeauna ușor de urmat, nu numai datorită complexității sistemului, respectiv a ecuațiilor de rezolvat, ci în primul rînd datorită caracterului aleatoriu al variațiilor mărimilor de intrare și perturbatoare. În literatura de specialitate [3], [6], [7], [8], [9] etc. sînt tratate dezvoltat procesele aleatorii nestaționare, staționare și ergodice, dar nu se sugerează măcar ideea folosirii rezultatelor respective pentru verificarea la încălzire a motoarelor electrice de acționare, ai căror parametri de funcționare prezintă variații aleatorii.

În prezentul articol se arată unele aspecte în acest sens, cu convingerea că problema prezintă interes atît sub aspect teoretic, cît și practic.

* Dr. ing. *N. Bogoevici* este conferențiar la Institutul politehnic din Timișoara, facultatea de electrotehnică.

Faptul că în numeroase cazuri concrete cuplul rezistent la arborele motorului electric, tensiunea de alimentare etc. prezintă variații aleatorii sugerează ideea folosirii funcțiilor de corelație pentru calculul valorii medii pătratice (echivalente) a curentului, sau cuplului motorului. Cu alte cuvinte pentru calculul de verificare la încălzire să se folosească analiza probabilistică.

Considerațiuni teoretice

Se consideră cazul cînd parametrii motorului electric, care determină variația în timp a curentului sau cuplului motorului, au o variație aleatorie staționară și ergodică, iar sistemul din care face parte motorul electric este liniar.

Pentru această situație se va arăta în continuare posibilitatea de determinare a valorii medii pătratice a curentului sau a cuplului, considerate ca mărimi de ieșire ale sistemului, cu ajutorul cărora se verifică motorul la încălzire.

Pentru a ușura înțelegerea metodei, care s-a aplicat în această lucrare, se redă în continuare, în mod rezumativ, unele chestiuni din calculul probabilităților, care deși se găsesc în literatura de specialitate [3], [6], [7], [8], [9] sînt destul de rar folosite și mulți nu sînt încă familiarizați cu ele.

O funcție $x(t)$ cu variație cvasistaționară și întîmplătoare în timp (fig. 1) este aleatorie, staționară și ergodică dacă toate proprietățile sale statistice sînt invariabile în raport cu schimbarea originii timpului și dacă valorile medii statistice sînt egale cu valorile medii temporare.

Se numește model sau eșantion al funcției aleatorii o formă particulară, cunoscută, de

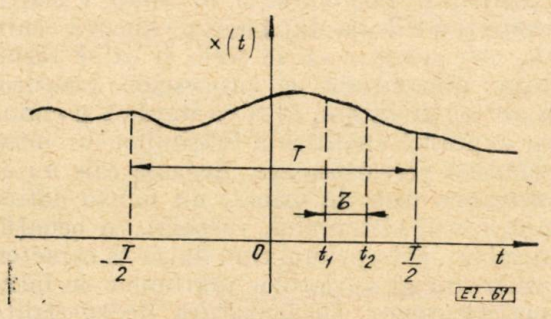


Fig. 1. Variația cvazistaționară și întîmplătoare a funcției de timp $x(t)$.

exemplu, sub formă de înregistrare a acestei funcții, în cursul unui anumit interval de timp.

Modelul respectiv trebuie să corespundă însă unui timp suficient de lung pentru ca proprietățile statistice ale modelului să fie aceleași cu proprietățile statistice ale funcției aleatorii.

Într-un caz particular, chiar și o funcție cu variație periodică cunoscută poate fi tratată ca o funcție aleatorie staționară și ergodică, deși o funcție aleatorie adevărată nu are periodicitate, adică nu există două modele ale aceleași funcții care să se suprapună.

Valoarea medie de primul ordin, m_x, a funcției aleatorii, staționare, ergodice, denumită și speranța matematică, se exprimă prin relația:

$$m_x = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(t)\,\mathrm{d}t \qquad (2)$$

și este constantă, adică independentă de timp.

Valoarea medie de al doilea ordin, denumită și funcția de corelație $\varphi(\tau)$, se exprimă prin relația:

$$\varphi_{xx}(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(t)\cdot x(t+\tau)\,\mathrm{d}t, \qquad (3)$$

în care $\tau = t_2 - t_1$ este argumentul (fig. 1).

Dacă variația în timp a funcției $x(t)$ este periodică, avînd durata ciclului egală cu T, atunci relația (3) devine:

$$\varphi_{xx}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(t)\cdot x(t+\tau)\,\mathrm{d}t. \qquad (4)$$

Funcția de corelație definită se referă la valoarea medie a produsului dintre valoarea funcției aleatorii la momentul t și valoarea aceleiași funcții la momentul $t+\tau$, din care cauză mai poartă și denumirea de funcție de autocorelație. Există și cazul cînd funcția de corelație se referă la valoarea medie a produsului a două funcții aleatorii diferite, $x(t)$ și $y(t)$, una la momentul t și alta la momentul $t+\tau$, adică:

$$\varphi_{xy}(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(t)\cdot y(t+\tau)\,\mathrm{d}t. \qquad (5)$$

În această situație $\varphi_{xy}(\tau)$ se numește funcție de corelație reciprocă.

Cîteva proprietăți mai importante ale funcției de autocorelație sînt [7], [8], [9] următoarele:

— este funcție pară, adică $\varphi(\tau) = \varphi(-\tau)$;

— este independentă de originea de măsurare a timpului și de sensul în care se măsoară, adică nu conține nici o informație asupra fazei funcției de timp;

— dacă funcția de timp are o componentă continuă și componente periodice, funcția de autocorelație are și ea o componentă continuă și componente periodice de aceeași frecvență;

— dacă funcția de timp nu are o componentă continuă ($m_x = 0$) și nici componente perio-

dice, ci numai componente întîmplătoare, atunci $\lim_{\tau\to\infty} \varphi(\tau) = 0$.

Aceleași proprietăți le are și funcția de corelație reciprocă (5), cu deosebirea că aceasta poate fi și impară.

Din expresia (3) a funcției de corelație se vede imediat că valoarea medie pătratică X_e^2 a funcției de timp $x(t)$ este egală cu valoarea funcției de corelație pentru $\tau = 0$, adică :

$$X_e^2 = \varphi_{xx}(0). \tag{6}$$

Prin urmare, dacă se cunoaște funcția de corelație, valoarea medie pătratică se poate calcula foarte ușor.

Mai există și o altă posibilitate de a determina valoarea medie pătratică a unei funcțiuni de timp cu caracter aleatoriu, trecînd din domeniul timpului în domeniul frecvențelor cu ajutorul transformatei Fourier [2], [5], [6], ceea ce prezintă avantaje privind verificarea la încălzire a motoarelor electrice cu metoda propusă, mai ales în cazul sistemelor automate de acționare. Pentru aceasta se introduce funcția de frecvență definită ca transformata Fourier a funcției de corelație $\varphi(\tau)$ și denumită densitatea spectrală de putere :

$$\Phi_{xx}(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_{xx}(\tau)\, e^{-j\omega\tau}\, d\tau, \tag{7}$$

dar $\varphi_{xx}(\tau)$ fiind o funcție pară, rezultă :

$$\Phi_{xx}(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_{xx}(\tau) \cos\, \omega_\tau\, d\tau, \tag{8}$$

adică și $\Phi_{xx}(j\omega)$ este o funcție pară și, în plus, reală.

Trebuie marcat faptul că dacă $\varphi_{xx}(\tau)$ are o componentă continuă și componente periodice de frecvențe date, funcția $\Phi_{xx}(j\omega)$ constă dintr-o sumă de funcții Dirac, ceea ce este echivalent cu a spune că întreaga energie a semnalului este concentrată la frecvențele corespunzătoare componentelor funcției aleatorii.

Cu ajutorul transformatei Fourier inverse se obține :

$$\varphi_{xx}(\tau) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_{xx}(j\omega)\, e^{j\omega\tau}\, d\omega, \tag{9}$$

respectiv, ținînd seamă că $\Phi_{xx}(j\omega)$ este o funcție reală și pară, rezultă :

$$\varphi_{xx}(\tau) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_{xx}(j\omega) \cos\omega\tau\, d\omega. \tag{10}$$

Ținînd seamă de relația (6), din (10) se deduce :

$$X_e^2 = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_{xx}(j\omega)\, d\omega, \tag{11}$$

adică valoarea medie pătratică se poate calcula și cu ajutorul densității spectrale de putere.

Din cele arătate este evident că procedeul de calcul folosit pentru determinarea valorii medii pătratice nu prezintă un avantaj în sensul simplificării calculului. În schimb, așa cum se va arăta în continuare, cînd este vorba de a se calcula valoarea medie pătratică a mărimii de ieșire a unui sistem automat, care, în problema tratată, este curentul sau cuplul motorului, cunoscîndu-se variația în timp a mărimilor de intrare, procedeul de calcul preconizat prezintă avantaje.

Dacă $W(s)$ este funcția de transfer a sistemului automat liniar, se poate demonstra [5], [7], [9] că densitatea spectrală de putere $\Phi_{yy}(j\omega)$ a mărimii de ieșire $y(t)$ se exprimă în funcție de densitatea spectrală de putere $\Phi_{xx}(j\omega)$ a mărimii de intrare prin relația :

$$\Phi_{yy}(j\omega) = |W(j\omega)|^2\, \Phi_{xx}(j\omega), \tag{12}$$

unde variabila complexă s a funcției de transfer s-a înlocuit prin $j\omega$.

Ținînd seamă de relația (11), valoarea medie pătratică Y_e^2 a mărimii de ieșire se calculează cu relația :

$$Y_e^2 = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} |W(j\omega)|^2\, \Phi_{xx}(j\omega) d\omega. \tag{13}$$

Din această ultimă relație rezultă faptul important că valoarea medie pătratică a mărimii de ieșire se poate determina fără să se cunoască variația de timp a acestei mărimi, deci fără să se rezolve ecuația diferențială a proceselor tranzitorii din sistem care implică și cunoașterea condițiilor inițiale. Este suficient numai să se cunoască funcția de transfer a sistemului și funcția de corelație, respectiv funcția densității spectrale de putere a mărimii de intrare.

Dacă variația în timp a mărimii de ieșire este cauzată de mai multe mărimi de intrare și perturbatoare, atunci, aplicînd principiul superpoziției valabil pentru sisteme liniare, se obține următoarea relație de calcul a valorii medii pătratice a mărimii de ieșire :

$$Y_e^2 = \frac{1}{2\pi}\sum_{\nu=1}^{n}\sum_{\lambda=1}^{n}\int_{-\infty}^{+\infty} W_\nu(j\omega) W_\lambda(-j\omega)\, \Phi_{x_\lambda x_\nu}(j\omega) d\omega, \tag{14}$$

unde :

$$\Phi_{x_\nu x_\lambda}(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_{x_\nu x_\lambda}(\tau)\, e^{-j\omega\tau}\, d\tau, \tag{15}$$

iar :

$$\varphi_{x_\nu x_\lambda}(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x_\nu(t+\tau)\, x_\lambda(t) dt. \tag{16}$$

Relația (14) permite să se calculeze valoarea medie pătratică (echivalentă) a curentului ($Y_e^2 = I_e^2$) sau a cuplului ($Y_e^2 = C_e^2$) motorului, în cazul cel mai general, cînd există mărimi

de intrare și perturbatoare care determină variația curentului, respectiv a cuplului. Dificultatea care trebuie remarcată la folosirea relației (14) constă în stabilirea funcției $\Phi_{x_\nu x_\lambda}(j\omega)$ și în determinarea valorii unor integrale cu limite infinite. În acest sens însă pot fi folosite tabele de funcții și integrale [10].

Exemplu de calcul

Pentru a arăta concret posibilitatea de aplicare a metodei descrise privind verificarea la

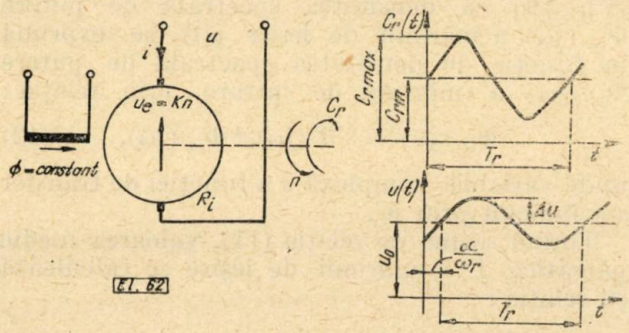


Fig. 2. Schema motorului electric de acționare, avînd cuplul rezistent și tensiunea de alimentare a motorului variabile în timp.

încălzire a motoarelor electrice, se consideră o mașină de lucru acționată de un motor de curent continuu. Tensiunea de alimentare a indusului și cuplul rezistent la arbore se presupune că variază în timp, conform relațiilor:

$$C_r(t) = C_{rm} + (C_{r\,max} - C_{rm}) \sin \omega_r t; \quad (17)$$

$$u(t) = u_0 + \Delta u \sin(\omega_r t - \alpha), \quad (18)$$

iar fluxul de excitație se presupune constant (fig. 2).

Cuplul dezvoltat de motor $C(t)$, considerat ca mărime de ieșire a sistemului ($y(t) = C(t)$), are o variație în timp determinată atît de $C_r(t)$, cît și de $u(t)$, considerate ca mărimi de intrare ($x_1(t) = C_r(t)$ și $x_2(t) = u(t)$).

Valoarea medie pătratică (echivalentă) a cuplului dezvoltat de motor se calculează cu relația (14), care devine:

$$C_e^2 = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} \{|W_1(j\omega)|^2 \Phi_{C_rC_r}(j\omega) + W_1(j\omega)\, W_2(-j\omega)\, \Phi_{uC_r}(j\omega) + W_1(-j\omega)\, W_2(j\omega)\, \Phi_{C_ru}(j\omega) + |W_2(j\omega)|^2 \Phi_{uu}(j\omega)\}\, d\omega \cdot \quad (19)$$

Cu relația (16), scrisă pentru funcții periodice, se calculează următoarele funcții de corelație:

$$\varphi_{C_rC_r}(\tau) = C_{rm}^2 + \frac{(C_{r\,max} - C_{rm})^2}{2} \cos \omega_r \tau;$$

$$\varphi_{uu}(\tau) = u_0^2 + \frac{\Delta u^2}{2} \cos \omega_r \tau; \quad (20)$$

$$\varphi_{C_ru}(\tau) = C_{rm} u_0 + \frac{(C_{r\,max} - C_{rm})\,\Delta u}{2} \cos(\omega_r \tau + \alpha)$$

$$\varphi_{uC_r}(\tau) = C_{rm} u_0 + \frac{(C_{r\,max} - C_{rm})\,\Delta u}{2} \cos(\omega_r \tau - \alpha).$$

Din relația (15) se obțin următoarele expresii pentru funcțiile densităților spectrale de putere:

$$\Phi_{C_rC_r}(j\omega) = 2\pi \left\{ C_{rm}^2\, \delta(\omega) + \frac{(C_{r\,max} - C_{rm})^2}{4} [\delta(\omega - \omega_r) + \delta(\omega + \omega_r)] \right\};$$

$$\Phi_{uu}(j\omega) = 2\pi \left\{ u_0^2\, \delta(\omega) + \frac{\Delta u^2}{4} [\delta(\omega - \omega_r) + \delta(\omega + \omega_r)] \right\};$$

$$\Phi_{C_ru}(j\omega) = 2\pi \left\{ C_{rm} u_0\, \delta(\omega) + \frac{(C_{r\,max} - C_{rm})\,\Delta u}{4} [e^{j\alpha} \delta(\omega - \omega_r) + e^{-j\alpha} \delta(\omega + \omega_r)] \right\}; \quad (21)$$

$$\Phi_{uC_r}(j\omega) = 2\pi \left\{ C_{rm} u_0\, \delta(\omega) + \frac{(C_{r\,max} - C_{rm})\,\Delta u}{4} [e^{-j\alpha} \delta(\omega - \omega_r) + e^{j\alpha} \delta(\omega + \omega_r)] \right\},$$

unde $\delta(\omega)$, $\delta(\omega - \omega_r)$ și $\delta(\omega + \omega_r)$ sînt funcții Dirac.

Funcțiile de transfer $W_1(s)$ și $W_2(s)$, în care se înlocuiește $s = j\omega$, se determină [4] din ecuațiile care exprimă funcționarea motorului de curent continuu în condițiile cînd se neglijează inductivitatea indusului:

$$u(t) = R_i\, i(t) + Kn(t);$$

$$C(t) = K_c i(t) = \frac{\theta}{9{,}55} \cdot \frac{dn}{dt} + C_r(t), \quad (22)$$

unde:

$i(t)$ este curentul prin indus;
$n(t)$ — turația motorului, rot/min;
θ — momentul de inerție, kgm²;
R_i — rezistența indusului, Ω;
K, K_c — constante ale motorului [1].

Rezultă:

$$W_1(j\omega) = \frac{1}{T_m\, j\omega + 1}; \quad W_2(j\omega) = \frac{K_c T_m}{R_i} \cdot \frac{j\omega}{T_m\, j\omega + 1}, \quad (23)$$

unde $T_m = \frac{\theta R_i}{9{,}55 KK_c}$ este constanta electromecanică de timp.

Înlocuind (23) şi (21) în (19) şi efectuînd calculul integralei, rezultă :

$$C_e^2 = C_{rm}^2 + \frac{(C_{rmax} - C_{rm})^2}{2(T_m^2 \omega_r^2 + 1)} + \frac{(C_{rmax} - C_{rm})}{T_m^2 \omega_r^2 + 1} \cdot \frac{\Delta u}{R_i} T_m \omega_r \sin \alpha + \frac{\Delta u^2}{2(T_m^2 \omega_r^2 + 1)} \left(\frac{K_e T_m \omega_r}{R_i} \right)^2, \quad (24)$$

Motorul corespunde din punct de vedere al încălzirii dacă $C_e \leqslant C_N$, C_N fiind cuplul său nominal.

Din relaţia (24) se remarcă faptul că valoarea lui C_e depinde de unghiul α. Cînd $\alpha = -\frac{\pi}{2}$, cuplul echivalent este minim.

Concluzii

Calculul de verificare la încălzire a motoarelor electrice care fac parte din sisteme de acţionare automate este în general mai dificil din cauza proceselor tranzitorii mai complexe care au loc într-un astfel de sistem atunci cînd apar perturbaţii sau modificări ale unor parametri. Pentru regimul de funcţionare continuu, dar cu parametrii variabili, se poate aprecia că într-un număr destul de mare de situaţii concrete, variaţia acestor parametri are un caracter aleatoriu staţionar.

Ca urmare, pentru calculul de verificare la încălzire se poate recurge la densitatea spectrală de putere care este transformata Fourier a funcţiei de corelaţie. În acest fel, la efectuarea calculelor pentru determinarea valorii echivalente a curentului sau cuplului nu este necesar să se cunoască variaţia în timp a acestor mărimi, adică nu este nevoie să se rezolve ecuaţia diferenţială a proceselor tranzitorii.

Procedeul descris în lucrare prezintă avantaje în special în cazul sistemelor de acţionare complexe la care există mai multe mărimi de comandă şi perturbatoare care influenţează asupra încălzirii motorului electric.

Bibliografie

[1] *Braşovan, M., Seracin, E.* şi *Bogoevici, N.* Acţionări electrice. Probleme şi aplicaţii industriale. Bucureşti, Editura tehnică, 1963.

[2] *Andronescu, Pl.* Aplicarea calculului operaţional la studiul circuitelor electrice. Bucureşti, Editura tehnică, 1957.

[3] *Spătaru, Al.* Teoria transmisiunii informaţiei. Semnale şi perturbaţii. Bucureşti, Editura tehnică, 1966.

[4] *Vazaca, C.* Analiza şi sinteza sistemelor automate liniare. Bucureşti, Editura Academiei, 1961.

[5] *Kontorovici, M.I.* Calculul operaţional şi fenomene tranzitorii în circuitele electrice (traducere din limba rusă). Bucureşti, Editura energetică de stat, 1955.

[6] *Angot, A.* Complemente de matematici. Bucureşti, Editura tehnică, 1966.

[7] *Pavenport, W.B.Jr.* şi *Root, W.L.* An Introduction to the Theory of Random Signale and Noise. New—York, Toronto London, McGraw Hill Book Company, Inc. 1958.

[8] *Truxal, J.G.* Entwurf automatischer Regelsysteme. Wien und München, R. Oldenbourg, 1960.

[9] *Livşiţ, A.I.* şi *Pugacev, N.V.* Veroistnostii analiz electroavtmaticescovo upravlenia, Moscova, Sovetcoe radio, 1963.

[10] *Rijic, I.M.* şi *Gradştein, I.S.* Tabele de integrale, sume serii şi produse. Bucureşti, Editura tehnică, 1955.

Intrat în redacţie la 30.V.1968

Contribuţii privind determinarea costului motoarelor electrice

PETRE ŢEPELUŞ* — Bucureşti

CZ 621.313.13.003.1

Maşinile electrice intervin, după cum se ştie, cu o pondere apreciabilă în costul sistemului de acţionare şi în costul total al instalaţiei. Existenţa unor relaţii matematice pentru calculul costului maşinilor electrice, permite în primul rînd să facem aprecieri directe şi să luăm mai uşor decizii privind alegerea unuia dintre tipurile de bază ale motoarelor electrice pentru acţionarea unei instalaţii. În al doilea rînd, aceste relaţii matematice vor permite stabilirea cu suficientă precizie a costului diferitelor tipo-dimensiuni de motoare electrice, mai ales ale acelora care nu se execută direct de uzinele constructoare.

Totodată, în activităţile de cercetare şi de proiectare privind determinarea seriei unitare de maşini electrice, de regulă, stabilită în concordanţă cu normativele CEI, şi în cercetările tehnico-economice legate de alegerea sistemului optim de acţionare a unei instalaţii, aceste relaţii matematice sînt indiscutabil necesare [1], [2].

De asemenea, existenţa acestor relaţii matematice, oferă posibilitatea să identificăm în ce măsură motoarele s-au ieftinit în urma aplicării unei noi tehnologii de fabricaţie sau prin adoptarea unei alte soluţii constructive şi să determinăm, pe baza comparaţiei datelor furnizate de diferite firme constructoare, competivitatea lor pe piaţa mondială.

Formulele matematice pentru determinarea costului diferitelor tipuri de maşini electrice prezentate în această lucrare s-au elaborat pe baza datelor statistice furnizate de cataloagele de preţuri. În cazul anumitor tipuri de maşini electrice care nu se fabrică încă la noi în mod

* Dr. ing. *P.C. Ţepeluş* este şef de lucrări la Institutul de petrol-gaze şi geologie.

curent s-au folosit, în măsura posibilităţilor noastre de informare, cataloagele de preţuri din U.R.S.S.

1. Factorii care determină costul maşinilor electrice

Costul maşinilor electrice depinde de o serie de parametri constructivi, de tehnologia de fabricaţie şi de alţi factori (sociali, economici etc.).

Cunoştinţele, îndemînarea personalului de execuţie şi tehnologia de fabricaţie reprezintă factorii aleatorii ai costului maşinii electrice într-o perioadă dată. Totodată, aceşti factori influenţează sensibil costul maşinilor, cînd ele se execută într-un exemplar, în serii mici sau în serii mari. Ultimii factori se reflectă în costul tipului maşinii electrice respective prin indicatori economici determinaţi statistic şi caracterizaţi, în cazul nostru, prin coeficienţi diferiţi de proporţionalitate (A_m). Determinarea ponderii fiecărui factor menţionat în indicatorul valoric depăşeşte tematica acestei lucrări şi, de aceea, nu se va prezenta. În sfîrşit, costul maşinii electrice depinde de modul de stabilire a preţurilor în ţara respectivă.

Din aceste consideraţii se deduce că preţul de cost al unui motor electric este strîns legat de fabrica producătoare şi de programul ei de fabricaţie. Din acest motiv preţul de cost al unui aceluiaşi motor diferă de la ţară la ţară şi chiar în aceiaşi ţară, de la uzină la uzină.

Formulele pe care le vom stabili va trebui să conţină coeficienţi a căror mărime şi valabilitate să depindă de fabrica respectivă. O situaţie mai bună, din acest punct de vedere, o prezintă ţările socialiste unde preţurile sînt unificate, astfel că în asemenea cazuri ecuaţiile care dau preţul de cost, inclusiv coeficienţii respectivi, sînt valabile în principiu pentru întreaga ţară.

Parametrii constructivi de proiectare a maşinilor electrice care prezintă importanţă în acţionările electrice şi interes pentru tematica acestei lucrări sînt valorile nominale ale următorilor parametri: puterea P, tensiunea U, momentul nominal M_n şi turaţia n.

Dintre parametrii constructivi, aşa cum a rezultat din datele statistice redate în lucrare, acela care caracterizează în principal costul maşinii electrice este momentul ei nominal. Din punct de vedere fizic momentul nominal M_n reprezintă un parametru mecanic principal prescris maşinii electrice, sesizabil şi măsurabil direct în axul ei. Deci el este şi un parametru constructiv principal al maşinii, fapt care rezultă şi din relaţia, cunoscută din literatura de specialitate [3], între momentul nominal M_n şi volumul interior al statorului V_i prin intermediul constantei C a maşinii, relaţie care poate fi pusă sub forma $M_n = CV_i$. Ea ne arată totodată că preţul maşinii electrice este influenţat de volumul maşinii electrice, de cuantumul materialelor folosite (pentru realizarea circuitului magnetic şi cel electric) şi a manoperii necesare pentru execuţia acestor agregate. Totodată momentul nominal caracterizează sintetic alţi indicatori naturali principali ai maşinii electrice (3): turaţia şi puterea ei nominală.

Turaţia nominală este un parametru mecanic important al maşinii electrice care influenţează, mai ales, valoarea diametrului rotorului şi a momentului ei nominal. Tensiunea nominală este şi ea un parametru electric important al maşinii, deoarece influenţează, îndeosebi, clasa de material izolant necesar, mărimea intensităţii curentului din circuitele înfăşurărilor şi a momentelor realizable. Un alt factor care influeţează costul motorului electric, este preţul materialelor necesare pentru execuţia sistemului de înfăşurare şi a circuitului său magnetic. Pentru diverse tipuri de maşini electrice aceste elemente constitutive sînt diferite, însă bine stabilite, corespunzător puterilor şi tensiunilor lor nominale. Avînd în vedere legătura ultimilor trei factori (materiale, putere, turaţie) cu preţul maşinii electrice, precum şi cu momentele realizabile de ea, influenţa lor se va concretiza în formule elaborate, în funcţie de momentul nominal prin valoarea diferită a coeficientului, A_m pentru un tip de maşină electrică dat. Ponderea cu care intervin fiecare din ei în costul maşinii nu fac obiectul acestei lucrări şi de aceea nu se prezintă.

Faţă de cele relatate rezultă că formulele matematice pentru calculul costului unui tip de motor electric pot fi stabilite în funcţie de un singur parametru constructiv (momentul nominal), din care se pot deduce şi alte formule în funcţie de parametrii P, n şi U şi printr-un indicator valoric care sintetizează factorii lui cu caracter aleatoriu şi consumul de materiale.

2. Formula generală pentru calculul costului maşinilor asincrone şi de curent continuu

Pentru majoritatea motoarelor asincrone şi de curent continuu, în conformitate cu cataloagele de preţuri din ţară şi din U.R.S.S., din cercetările efectuate, a rezultat că, în limita erorilor permise în proiectare (2—5%), costul lor se calculează după formula generală [1], [4];

$$K_{me} = A_m \sqrt{M_n}, \text{ mii lei}; \qquad (1)$$

unde:

M_n este momentul nominal al motorului electric, tfm;

A_m — coeficientul de proporţionalitate, $\frac{\text{mii lei}}{\text{tfm}^{1/2}}$.

Matematic, expresia (1) corespunde unei parabole, care pentru diferite tipuri de motoare şi tensiuni ale lor de alimentare are diferiţi coeficienţi A_m. Ecuaţia (1) este foarte

avantajoasă în cazul cînd este cunoscut momentul nominal determinat pe baza parametrilor dinamici ai instalaţiei respective. Totodată, acest moment nominal poate fi realizat de motoare electrice de acelaşi tip, însă de puteri şi turaţii diferite, ceea ce permite proiectantului să analizeze diferite variante. Pentru o decizie luată, avînd în vedere relaţia (1), se poate calcula costul motorului electric în funcţie de puterea lui nominală P, exprimată în kW şi turaţia sa nominală n, după formula :

$$K_{me} = A_m \sqrt{M_n} = A_m \sqrt{\frac{975}{1\,000} \cdot \frac{P}{n}} = A_p \sqrt{\frac{P}{n}} = A_m \sqrt{\frac{P}{n}}, \qquad (2)$$

în care :

$$M_n = \frac{975}{1\,000} \frac{P}{n}, \text{ tfm};$$

$$A_p = A_m \frac{975}{1\,000} = 0{,}987\ A_p \cong A_m. \qquad (3)$$

Ecuaţiile (1), (2), (3) permit, după nevoie, o dezvoltare ulterioară a lor în funcţie chiar de parametrii dinamicii instalaţiei respective, care dau în final valoarea momentului şi puterii necesare [5], [6]. Ca urmare, costul orientativ al motorului electric poate fi exprimat direct în funcţie de parametrii dinamicii respective.

Nu este lipsit de interes să arătăm ca o aplicare a formulelor indicate cum variază costul unei instalaţii, unde există posibilitate de acţionare, fie cu un singur motor P, fie la alegere cu n_m motoare de putere :

$$P_1 = \frac{P}{n_m}. \qquad (4)$$

Ţinînd seamă de relaţiile (2) şi (4), costul tuturor motoarelor electrice n_m care asigură puterea necesară de acţionare a instalaţiei este egal cu :

$$K_{me} = n_m A'_m \sqrt{\frac{P_1}{n}} = n_m A_m \sqrt{\frac{P}{n_m \cdot n}} = \sqrt{n_m} \cdot A_m \sqrt{\frac{P}{n}}, \text{ mii lei.} \qquad (5)$$

Din formula (5) rezultă că valoarea motorului electric de acţionare al unei instalaţii creşte de $\sqrt{n_m}$ ori faţă de cazul cînd s-ar utiliza un singur motor de putere echivalentă cu a primelor. Creşterea costului este simţitor mai mică decît proporţional. Acest rezultat va permite proiectantului instalaţiei să aprecieze mai bine valoarea acelor elemente din instalaţie care să argumenteze în favoarea alegerii unui număr mai mare de motoare de putere mai mică, decît a unui singur motor de putere egală cu suma puterilor motoarelor mai mici.

În continuare vom examina în detaliu costurile tipurilor de motoare cele mai uzuale, respectiv motoare asincrone de curent continuu şi sincrone.

3. Motoare asincrone

În cuprinsul acestei lucrări s-au analizat tipurile de motoare asincrone cu puteri cuprinse între 80 şi 1000 kW de joasă tensiune (0,2—1 kV) şi de tensiune ridicată (1—0,6 kV), fabricate în Republica Socialistă România şi U.R.S.S.

Tabela 1 dă caracteristicile acestor motoare, precum şi ecuaţiile de tipul ecuaţiei (1) care dau preţul acestor motoare.

Tabela 1

Denumirea motorului electric	Construcţia	Tipul	Parametrii domeniului calculat	Formula de calcul a costului (t_{me}, mii lei, M_n, tfm)	Ţara unde se construieşte
Motor asincron cu rotorul bobinat	protejat contra picăturilor de apă	MAF, MAR, MIR (fig. 1)	P=80—1000 kW n=500—1500 rot/min U = 6,0 kV	$K_{me} = 170\sqrt{M_n}$	R.S.R.
			P = 80—250 kW n=500—1000 rot/min U = 0,2—1,0 kV	$K_{me} = 120\sqrt{M_n}$	R.S.R.
Motor asincron cu rotorul în scurtcircuit	construcţie închisă, izolaţie B	MUR MUF (fig. 2)	P = 65—650 kW n=250—1500 rot/min U = 6,0 kW	K_{me}=(225 — 235)$\sqrt{M_n}$ 225→M_n 0,1—0,4 235→M_n=0,4—0,8	R.S.R.
	construcţie închisă, izolaţie B	MUS (fig. 5)	P=130—500 kW n=150—1500 rot/min U = 6,0 kV	K_{me}=60+133 (M_n—0,05)	R.S.R.
	protejată şi antiexplozivă	MAS (fig. 3)	P=40—250 kW n=60—3000 rot/min U=1,0—6,0 kV	$K_{me} = 95\sqrt{M_n}$	R.S.R.
Motor asincron cu rotorul bobinat	construcţie închisă	AKM (fig. 4)	P=200—2000 kW n=250—6500 rot/min U = 6 kV	K_{me}=7,15$\sqrt{M_n}$, mii ruble K_{me}=47,62$\sqrt{M_n}$, mii lei valută	U.R.S.S.

La baza ecuaţiilor deduse au stat datele din cataloagele de preţuri respective [7], [8].

În figurile 1, 2, 3 şi 5 se prezintă curbele care redau costul motoarelor analizate care se

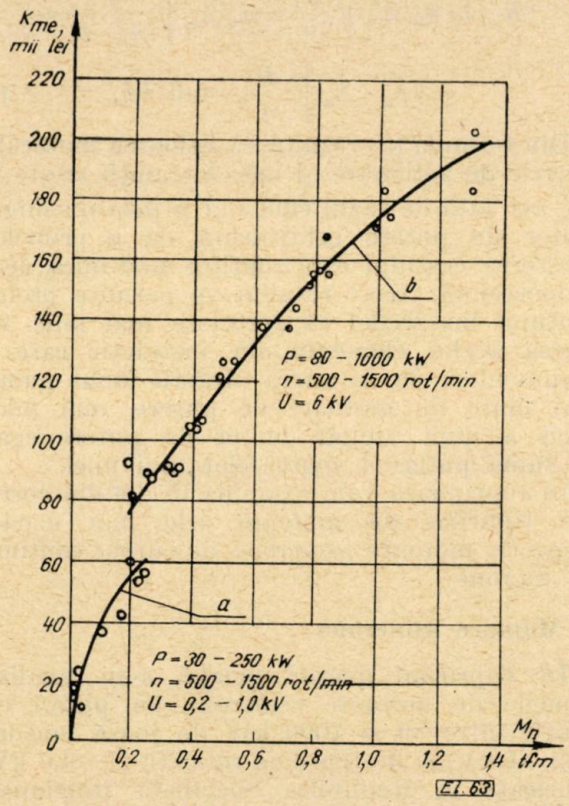


Fig. 1. Variaţia costului motoarelor asincrone tip MAF, MAR şi MIR, cu rotorul bobinat, în funcţie de momentul lor nominal.

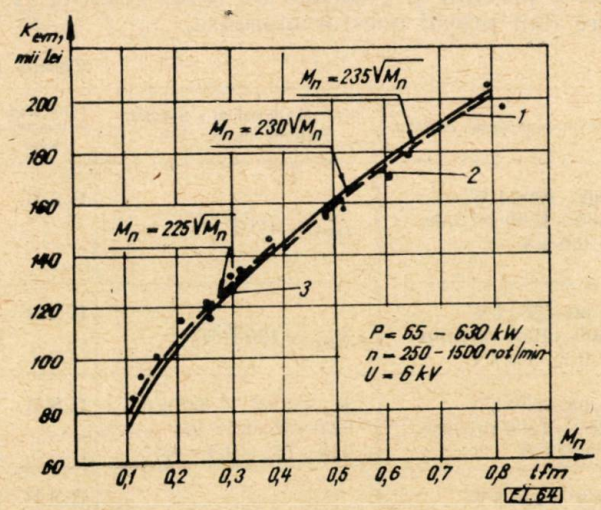


Fig. 2. Variaţia costului motorului asincron cu rotorul bobinat de construcţie închisă tip MUR şi MUF, în funcţie de momentul lui nominal.

fabrică în ţară, iar figura 4 reprezintă variaţia costului motoarelor asincrone fabricate în U.R.S.S. cu capacitate de supraîncărcare mărită. (În datele prezentate sînt incluse tipurile de motoare unificate).

Din compararea acestor curbe ale costului diverselor tipuri de motoare asincrone în condiţii identice (adică pentru acelaşi moment nominal) rezultă unele concluzii, cele mai importante fiind redate în continuare.

a) Costul motoarelor asincrone de tip MAF, MAR şi MIR (fig. 1), prevăzute să funcţioneze la tensiuni de 6 kV însă executate pentru valori de momente nominale între 0,05 şi 0,2 tfm, este mai mare de 1,4 ori decît acela al motoarelor asincrone proiectate să funcţio-

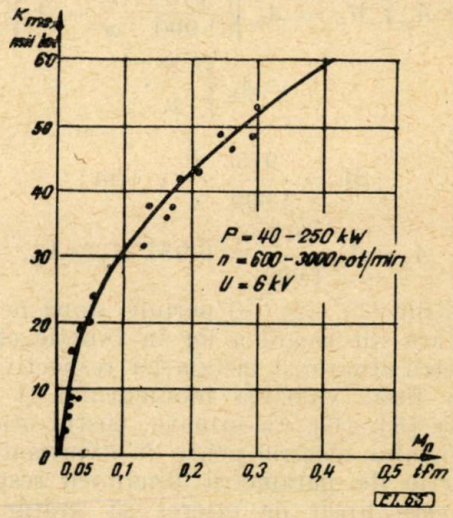


Fig. 3. Variaţia costului motorului asincron cu rotorul în scurtcircuit tip MAS, în funcţie de momentul lui nominal.

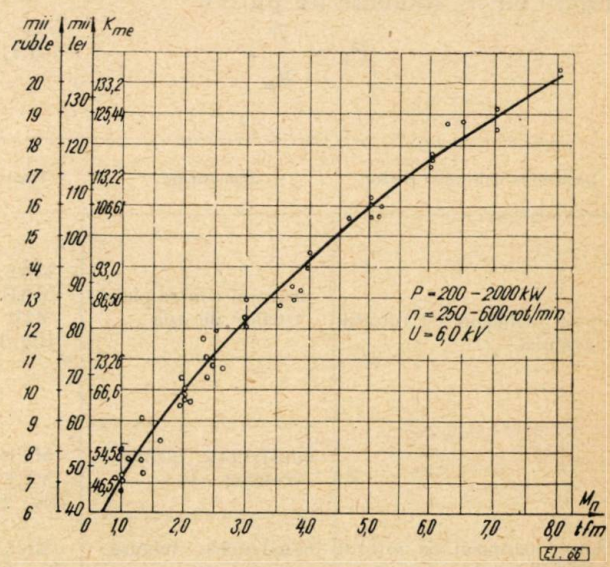


Fig. 4. Variaţia costului motorului asincron cu rotorul bobinat tip AKM, în funcţie de momentul lui nominal.

neze la tensiuni de 0,2 — 1 kV, avînd aceleaşi momente nominale ca primele. Aceasta se datoreşte, mai ales, materialului izolant al înfăşurărilor şi a tolelor circuitului magnetic corespunzătoare celor două feluri de tensiuni

de alimentare şi de utilizarea, uneori, de sisteme de înfăşurări diferite.

b) Costul motorului asincron * de construcţie închisă (MUR şi MUF) cu rotorul bobinat (fig. 2) fabricate în ţară, este mai mare de

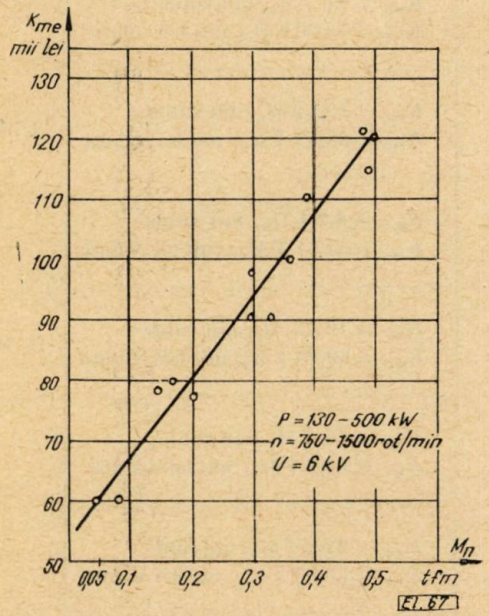


Fig. 5. Variaţia costului motorului asincron cu rotorul în scurtcircuit (izolaţia B) tip MUS, în funcţie de momentul lui nominal.

1,30—1,35 ori decît acela al motoarelor asincrone de construcţie protejată, fapt care se datoreşte sistemelor de construcţie diferite.

c) Valoarea motoarelor asincrone de construcţie închisă (MUR şi MUF) cu rotorul bobinat (fig. 2), fabricate în ţară, este mai mare de 1,35 ori decît a celor cu rotorul în scurtcircuit (fig. 3), diferenţă care rezultă, îndeosebi, datorită construcţiei mai simple a indusului motoarelor asincrone MAS.

d) Motoarele asincrone sovietice AKM (fig. 4), conform datelor din cataloagele de preţuri [8], sînt mai ieftine în medie de 1,1 pînă la 1,35 ori decît cele similare construite în ţară, fapt care se datoreşte atît executării la noi a acestor maşini electrice într-o producţie de serie mai mică, cît şi unor diferenţe de construcţie.

e) O situaţie deosebită atît din punct de vedere al formulei pentru calculul costului lor, cît şi al valorilor care rezultă din calcul o ocupă motoarele asincrone MUS (fig. 5). Costul lor depăşeşte pe cel al celorlalte tipuri şi, îndeosebi, pe cel al motoarelor MAS, de 1,8 — 2,2 ori. Construcţia specială a lor motivează o majorare a costului motoarelor MUS. Considerăm totuşi că o restudiere a preţului lor va conduce la micşorarea şi la o nouă formă a curbei de evaluare a lui. De asemenea este discutabilă modalitatea de stabilire a costului motoarelor MAS, deoarece preţurile lor nu se deosebesc, fie că sînt de construcţie protejată, fie în construcţie antiexplozivă.

* Curbele punctate din figura 2 reprezintă aproximarea costului motoarelor MUR şi MUF, conform datelor din cataloagele de preţuri [6]. Linia continuă redă media celor două curbe punctate.

4. Motoare de curent continuu

Necesităţile de motoare de curent continuu la noi în ţară s-au limitat pînă azi, mai ales, la diferite acţionări speciale: tracţiune electrică urbană şi feroviară, motoare pentru nave etc. De asemenea s-au dezvoltat şi tipuri normale pentru întrebuinţări generale.

Fabricaţia lor însă nu poate fi considerată că a căpătat aspectul de fabricaţie de serie.

Din acest motiv s-a preferat, în această lucrare, să se analizeze preţurile motoarelor de curent continuu construite în U.R.S.S. [7], [8]. Tipurile de motoare analizate şi caracteristicile lor s-au redat în tabela 2. În coloana V a acestei tabele s-au scris şi ecuaţiile care dau preţurile acestor motoare, ecuaţii de tipul relaţiei (1).

În figurile 6, 7, 8, 9, 10, 11 şi 12 se prezintă curba costului acestor motoare în funcţie de momentul lor nominal, în conformitate cu datele din cataloagele de preţuri [8], [9] şi care au stat la baza elaborării acestor ecuaţii*. Valoarea coeficientului A_m este evident diferită atunci cînd se trece la transformarea în lei valută **.

Din tabela 2 şi figurile 6, 7, 8, 9, 10, 11 şi 12 rezultă următoarele concluzii mai importante:

a) Costul motoarelor de curent continuu proiectate (fig. 6, 9 şi 11, tabela 2) pentru turaţii

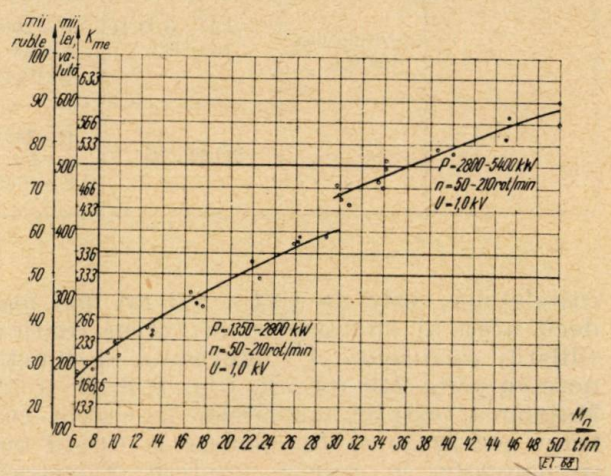


Fig. 6. Variaţia costului motorului de curent continuu tip II de turaţii mici, în funcţie de momentul lui nominal.

mici (24,0 — 120,0 rot/min), în general utilizate în acţionările electrice fără reductoare ale

* V.S. Tulin a elaborat [9] formule $K_{me} = 10\sqrt{M_n}$, reprezentînd un caz particular, şi anume pentru motoarele pe care le-a preconizat pentru acţionarea maşinilor de extracţie minieră.

** În tabele s-au prezentat formulele atît în ruble, cît şi în mii lei valută, ţinînd seamă că în viitor s-ar putea modifica coeficientul de transformare.

Tabela 2

Denumirea motorului	Construcţia	Tipul	Parametrii domeniului calculat	Formula de calcul a costului	Ţara unde se construieşte
Motor de curent continuu	protejată sau închisă	П (fig. 6)	$P=1350-2800$ kW $n=50-211$ rot/min $U=1{,}0$ kV	$K_{me}=11\sqrt{M_n}$, mii ruble $K_{me}=73{,}26\sqrt{M_n}$, mii lei valută	U.R.S.S.
		П (fig. 6)	$P=2800-5400$ kW $n=50-210$ rot/min $U=1{,}0$ V	$K_{me}=12{,}5\sqrt{M_n}$, mii ruble $K_{me}=83{,}82\sqrt{M_n}$, mii lei valută	
		П (fig. 7)	$P=220-450$ kW $n=250-500$ rot/min $U=0{,}2-0{,}5$ kV	$K_{me}=8{,}2\sqrt{M_n}$, mii ruble $K_{me}=54{,}61\sqrt{M_n}$, mii lei valută	
	protejată şi închisă	МП (fig. 8)	$P=1200-3000$ kW $n=300$ 750 rot/min $U=0{,}4-1{,}0$ kV	$K_{me}=10{,}5\sqrt{M_n}$, mii ruble $K_{me}=69{,}93\sqrt{M_n}$, mii leii valută	U.R.S.S.
	protejată	МП (fig. 9)	$P=200-20200$ kW $n=24-125$ rot/min $U=0{,}4-1{,}0$ kV	$K_{me}=10\sqrt{M_n}$, mii ruble $K_{me}=66{,}6\sqrt{M_n}$, mii lei valută	U.R.S.S.
			$P=1250$ 5160 kW $n=24-125$ rot/min $U=0{,}4-1{,}0$ kV	$K_{me}=11{,}5\sqrt{M_n}$, mii ruble $K_{me}=76{,}60\sqrt{M_n}$, mii lei valută	
		(fig. 10)	$P=60-3860$ kW $n=150-2000$ rot/min $U=0{,}5-0{,}4$ kV	$K_{me}=9{,}0\sqrt{M_n}$, mii ruble $K_{me}=60{,}0\sqrt{M_n}$, mii lei valută	
	protejată şi închisă	Д,П ; Д,П П (fig. 11)	$P=340-4600$ kW $n=24-120$ rot/min $U=0{,}4-1{,}0$ kV	$K_{me}=12\sqrt{M_n}$, mii ruble $K_{me}=80{,}0\sqrt{M_n}$, mii lei valută	
		Д,П ; Д,П П (fig. 12)	$P=200-750$ kW $n=200-500$ rot/min $U=0{,}44-1{,}0$ kV	$K_{me}=9{,}0\sqrt{M_n}$, mii ruble $K_{me}=60{,}04\sqrt{M_n}$, mii lei valută	
		ПБК–М	$P=1170-6000$ kW $n=250-1000$ rot/min $U=0{,}45-1{,}0$ kV	$K_{me}=10\sqrt{M_n}$, mii ruble $K_{me}=66{,}6\sqrt{M_n}$, mii lei valută	

instalaţiilor, este de 1,14 — 1,3 ori mai mare decît acela al motoarelor de curent continuu (diferiţi coeficienţi A_m) prevăzute să funcţioneze cu peste 210 rot/min (fig. 7, 8, 10 şi 12). Majorarea costului motoarelor de curent continuu prevăzute să funcţioneze la turaţii mici se datoreşte, în special, creşterii diametrului indusului lor şi a cantităţii de materiale necesare pentru execuţia înfăşurărilor şi a circuitului magnetic al motoarelor şi statoarelor.

b) În figurile 6 şi 9 se observă o întrerupere a curbei costului motoarelor electrice tip П şi М П de turaţii mici (24—210 rot/min) în dreptul valorii $M_n = 30$ tfm, iar coeficientul A_m al curbei este diferit înainte şi după acest punct. Ca urmare, motoarele cu momente nominale mai mari de 30 tfm au coeficientul A_m de 1,15 ori mai mare (mai scumpe) decît acelea cu momentul nominal mai mic de 30 tfm. Această deosebire de costuri se datoreşte următoarelor cauze mai importante: motoarele de curent continuu de momente şi puteri foarte mari (îndeosebi cele care au momente mai mari de 30 tfm) necesită înfăşurări speciale (combinate) pentru indus; se execută în serii mici şi tehnologia lor de fabricaţie este diferenţiată; ele reprezintă agregate complexe care necesită sisteme de ventilaţie mai complicate; colectoarele şi legăturile echipotenţiale ale bobinelor lor au o construcţie şi o tehnologie de fabricaţie mai complicată.

La motoarele de curent continuu tip ДП şi ДПП (fig. 11 şi 12 şi tabela 2) se observă o uşoară majorare a coeficientului A_m, respectiv a costului lor. Aceste motoare de puteri foarte mari sînt destinate în special pentru instalaţii

grele din industria metalurgică, pentru instalaţii de extracţie miniere, pentru instalaţii de viteza de rotaţie ce-i este prescrisă. La ele se menţine constantă valoarea raportului nu între

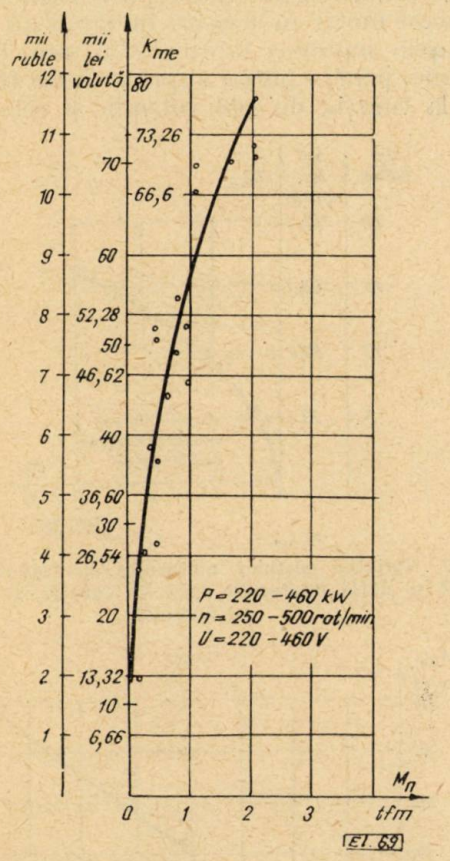


Fig. 7. Variaţia costului motorului de curent continuu tip П, în funcţie de momentul lui nominal.

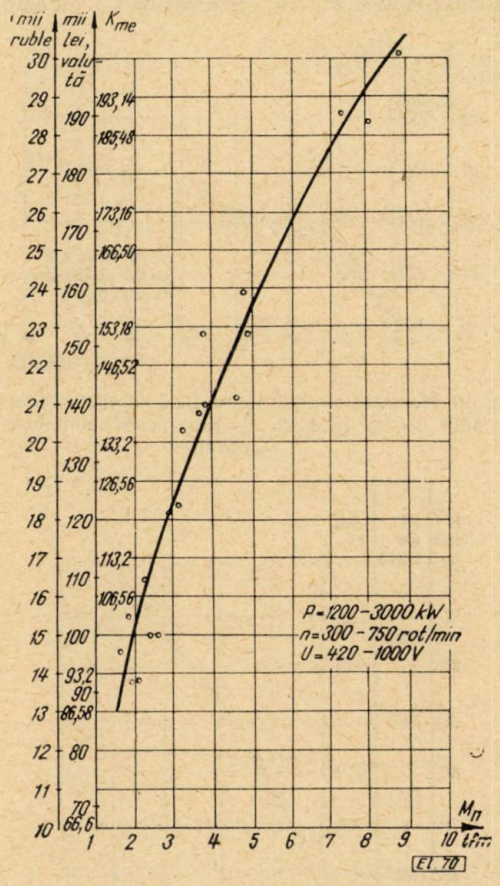


Fig. 8. Variaţia costului motorului de curent continuu tip П, în funcţie de momentul lui nominal.

foraj cu sarcini mari la cîrlig şi altele. Aceste instalaţii au o dinamică mai complicată, necesită execuţia rapidă a proceselor tehnologice de bază şi impune reglarea turaţiei lor combinată (prin variaţia cîmpului magnetic şi a curentului din indus). Aceste condiţii specifice conduc şi la unele modificări în construcţia lor.

Costul motoarelor asincrone AKM fabricate în U.R.S.S. este mai mic de 1,15 — 1,26 ori decît al motoarelor de curent continuu tip П, МП ДПП, şi ПБК—3М (fig. 7, 8 şi 12) şi de aceleaşi momente nominale. De asemenea, valoarea acestor motoare de curent continuu fabricate în U.R.S.S. este mai mare de 1,1 — 1,4 ori faţă de motoarele asincrone cu rotorul bobinat fabricat în ţară (MAF, MAR, MIR), iar faţă de cele cu rotorul în scurtcircuit (MAS), de 1,80—2,60.

Diferenţa între costurile celor două tipuri de motoare se datoresc, îndeosebi, prezenţei colectorului la motoarele de curent continuu. Un rol important la motoarele asincrone îl are numărul de perechi de poli, determinat de

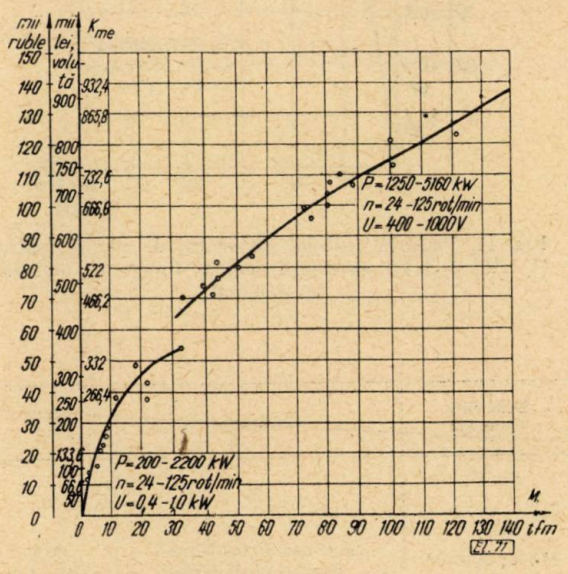


Fig. 9. Variaţia costului motorului de curent continuu tip М П de turaţii mici, în funcţie de momentul lui nominal.

lungime şi diametru, ci între lungimea şi pasul lor polar. Ca urmare, rotorul acestor maşini se scurtează cu creşterea numărului de poli şi corespunzător cu micşorarea vitezei [3].

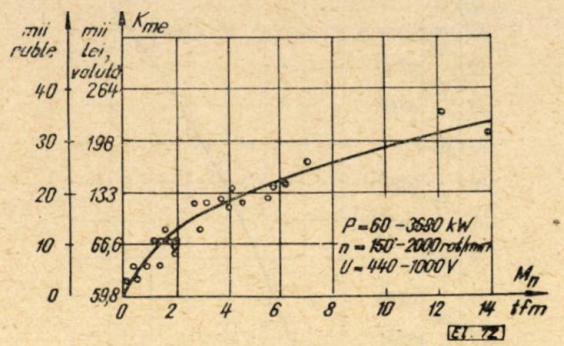


Fig. 10. Variaţia costului motorului de curent continuu tip MII de turaţii mari, în funcţie de momentul lui nominal.

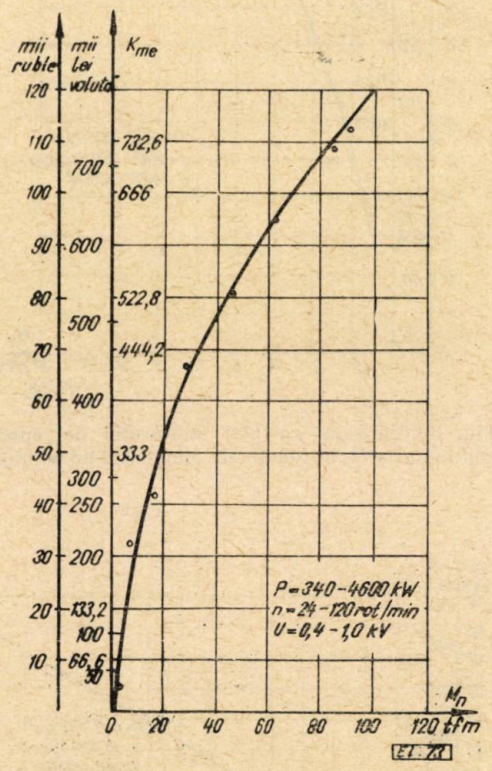


Fig. 11. Variaţia costului motorului de curent continuu tip ДП şi ДПП de turaţii mici în funcţie de momentul lui nominal.

5. Motoarele sincrone

Motoarele sincrone mai des folosite la noi sînt cele de puteri relativ mari (peste 100—150 kW). Din acest motiv în această lucrare s-au analizat motoarele sincrone, fabricate în ţară, de joasă tensiune, pentru puteri cuprinse între 100 şi 200 kW, la turaţia de 300 rot/min şi cele pentru

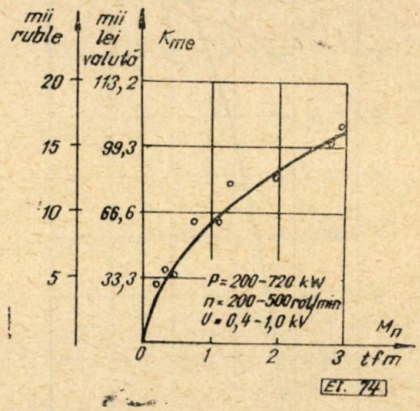


Fig. 12. Variaţia costului motorului de curent continuu tip ДП şi ДПП de turaţii mari, în funcţie de momentul lui nominal.

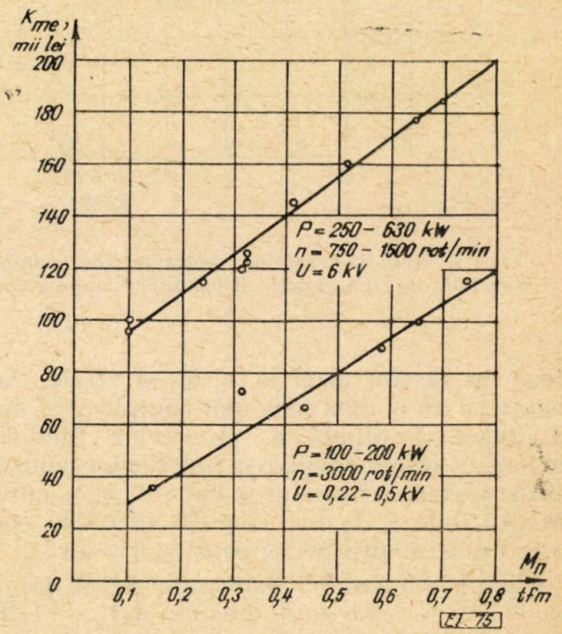


Fig. 13. Variaţia costului motorului sincron tip MS în funcţie de momentul lui nominal.

Tabela 3

Denumirea motorului	Construcţia	Tip	Parametrii domeniului calculat	Formula de calcul a costului, K_{me}, mii lei; M_n, tfm	Ţara unde se construieşte
Motor sincron	deschisă şi protejată contra picăturilor	MS (fig. 13)	$P = 250 - 630$ kW $n = 750 - 1500$ rot/min $U = 6{,}0$ kV	$K_{me} = 100 + 143\,(M_n - 0{,}1)$	R.S.R.
			$P = 100 - 200$ kW $n = 300$ rot/min $U = 0{,}22 - 0{,}5$ kV	$K_{me} = 30 + 130\,(M_n - 0{,}1)$	

6 kV, pentru puteri cuprinse între 250 şi 630 kW şi turaţii cuprinse între 750 şi 1500 rot/min. În tabela 3 sînt redate caracteristicile motoarelor sincrone analizate, precum şi relaţiile elaborate de noi şi care se recomandă pentru calculul costului lor. Diagrama din figura 13 reprezintă preţurile după cataloagele noastre de preţuri [7], care au stat la baza elaborării formulei.

În conformitate cu cele menţionate formula generală pentru calculul costului motoarelor sincrone este :

$$K_{me} = a_1 + b\ (M_n - e),\ \text{mii lei}, \qquad (7)$$

în care :

$$a = 30 - 100\ ;\ b = 130 - 163\ ;\ e = 0{,}1.$$

Avînd în vedere relaţia (3), formula (7) devine :

$$K_{me} = a + b\left(0{,}975\,\frac{P}{n} - e\right). \qquad (8)$$

Din formulele (7) şi (8) se observă că funcţia care exprimă variaţia costului motoarelor sincrone fabricate în ţară diferă de a celorlalte tipuri de motoare electrice şi că se obţin valori mai mari pentru costul lor dacă s-ar fi calculat după formula (1). O motivare a costului ridicat al motoarelor sincrone se datoreşte faptului că ele se execută în serie şi într-un număr de tipodimensiuni reduse*.

Din formulele prezentate în tabelele 1, 2 şi 3 şi figurile respective se desprind următoarele constatări importante :

— costul motoarelor sincrone pentru aceeaşi valoare a momentului nominal, prevăzute să funcţioneze la înaltă tensiune, este mai mare de 1,55 ori decît acela al motoarelor la bornele cărora se aplică tensiunea de 0,2 — 0,5 kV, din motive analoge ca la celelalte motoare electrice analizate ;

— pentru aceeaşi valoare a momentului nominal, motoarele sincrone sînt mai scumpe de 1,5 ori decît motoarele asincrone cu rotorul bobinat, fabricate în ţară şi care funcţionează la înaltă tensiune, iar faţă de cele cu rotorul în scurtcircuit, de 2,6 ori ;

— comparativ cu valoarea motoarelor de curent continuu, corespunzătoare aceluiaşi moment nominal, costul motoarelor sincrone este mai mare, în medie de 1,17 — 1,22 ori.

Costul ridicat al motoarelor sincrone faţă de cel al motoarelor asincrone este explicabil şi prin faptul că sînt necesare principii constructive diferite. Totuşi, considerăm că perfecţionarea în viitor a tehnologiei de fabricaţie a motoarelor sincrone va conduce la o micşorare a costului lor şi, respectiv, a proporţiei lui faţă de costul motoarelor asincrone şi de curent continuu, micşorare care ar corespunde şi datelor altor firme constructoare [1], [8], [9].

* Totuşi, considerăm că valorile lor sînt prea mari şi trebuie reevaluate.

Concluzii

1. Costul motoarelor electrice poate fi exprimat prin relaţii matematice, elaborate de autor, în funcţie de indicatorul lor natural — momentul nominal şi indicatorul economic concretizat printr-un coeficient de proporţionalitate (A_m). Formulele, deduse în conformitate cu datele cataloagelor de preţuri, pentru calculul costului diferitelor tipuri de motoare electrice, ţine seamă atît de factorii constructivi (M_n, P, U şi n), cît şi de factorii aleatori (pregătirea profesională, tehnologia de fabricaţie, factorii sociali etc.). Erorile care rezultă din utilizarea acestor formule nu depăşesc limitele admise în proiectare.

2. Formulele elaborate de autor permit să stabilim cu suficientă precizie raporturile dintre costurile diferitelor tipuri de bază de motoare electrice (motor asincron, motor sincron, motor de curent continuu), cînd se utilizează ca parametru de raport momentul lor nominal.

3. Din cercetările efectuate rezultă că, perfecţionarea în viitor a construcţiei şi a tehnologiei de fabricaţie a motoarelor electrice fabricate în ţară, va permite o micşorare a costului lor.

4. Formulele elaborate permit determinarea costului motorului electric direct în funcţie de parametrii dinamicii instalaţiei respective.

Din examinarea cataloagelor de preţuri din ţară şi din U.R.S.S. rezultă că, în principal, diferenţele ce există între costurile motoarelor electrice se concretizează prin indicatorul economic (coeficientul A_m). Metodologia de elaborare a formulelor costului motoarelor electrice este valabilă pentru orice uzină constructoare, fiind necesar să se execute cercetările respective.

Bibliografie

[1] *Ţepeluş, P.C.* Acţionarea electrică şi automatica instalaţiilor grele de transport pe verticală pînă la înălţimi de 1000 m şi de capacităţi pînă la 1000 tone pe oră. Lucrare de doctorat, Moscova, 1965. Biblioteca centrală universitară, Bucureşti.

[2] C.S.P. şi M.F. Instrucţiuni cu privire la determinarea eficienţei economice a obiectivelor de investiţie cu ajutorul indicatorului „durata de recuperare a investiţiilor".

[3] *Richter, R.* Maşini electrice, vol. I. Bucureşti, Editura tehnică, 1960.

[4] *Ţepeluş, P.C.* Metodă generală pentru calculul costului elementelor instalaţiilor de extracţie miniere. Partea mecanică şi partea electrică. In : Revista Minelor, nr. 4 şi 5, 1966.

[5] *Ţepeluş, P.C.* Probleme economice privind alegerea sistemului optim de acţionări a troliului de foraj. Comunicare la sesiunea ştiinţifică a I.P.G.G., 1967. Biblioteca I.P.G.G.

[6] *Ţepeluş, P.C.* Considerente privind alegerea diagramei optime de viteze a troliului de foraj. In : Petrol şi Gaze, nr. 10, 1967.

[7] * * * Catalogul de preţuri al M.I.C.M.—33/EL — vol. I din 1965.

[8] * * * Catalogul de preţuri din U.R.S.S. 15—02/1965 şi 15—01/1961

[9] *Tulin, V.S.* Electroprivod i avtomatica monogokavatnîh podemnîh ustanovock. Moscova, Izd. Nedra, 1964.

Intrat în redacţie la 18.VI.1968

Tendințele actuale în construcția cablurilor electrice de forță și telecomunicații*

CONSTANTIN CRUCERU** — București

CZ 621.315.21.054.002 : 621.311.1 : 621.39

Pentru transportul energiei electrice și a semnalelor de telecomunicații, în construcția de mașini și aparate și, în general, în industria electrotehnică și energetică, se folosesc actualmente un număr foarte mare — peste 1500 — de tipuri diferite de conducte electrice.

Avînd secțiuni nominale cuprinse într-o gamă extrem de largă, de la 0,25 mm² pînă la 1000 mm², cablurile electrice de forță și de telecomunicații se izolează cu cele mai variate materiale, dintre care :

a) materialele plastice — policlorura de vinil, polietilena, polistirenul, politetrafluoretilena (telfonul, fluonul) poliamide etc. ;

b) cauciucurile naturale și sintetice — butadiene, butilcauciucul, policloroprenul etc. ;

c) lacurile electroizolante — silicoorganice (siliconi), poliamidice, poliuretanice, tereftalice, gliptalice, epoxidice etc. ;

d) materialele fibroase — firele de bumbac, mătase naturală, viscoza, țesăturile de sticlă, azbest etc.

Materialele utilizate pentru izolarea conductelor electrice se caracterizează, pe de o parte, printr-o rezistivitate electrică ridicată, rigiditate dielectrică, respectiv tensiune de străpungere mare, care permit folosirea unor învelișuri izolante cu grosime relativ mică, iar pe de altă parte, printr-o rezistență mare la îmbătrînire, care garantează siguranța în funcționare a cablurilor electrice respective.

Pentru preîntîmpinarea înrăutățirii caracteristicilor electrice, mecanice sau de altă natură, înrăutățire determinată de influența mediului ambiant (umiditate, oxigen, agenți chimici etc.) cablurile electrice de forță și telecomunicații se protejează în prezent cu mantale etanșe care se execută, fie din materiale nemetalice (cauciucuri naturale sau sintetice, materialele plastice), fie din materiale metalice (plumb sau aluminiu).

Protecția izolației cablurilor împotriva acțiunii luminii, uleiului, benzinei, pune în prezent probleme deosebite de ordin constructiv care se soluționează în cele mai diverse forme.

În funcție de domeniul de aplicare (criteriu determinant în construcția cablurilor electrice de forță și telecomunicații), de izolația, protecția, tensiunea nominală de exploatare, temperatura maximă, de durată și de frecvența semnalelor în transmisia electroenergetică sau în telecomunicații, se deosebesc în prezent pe plan mondial numeroase tipuri de cabluri, din care o mare parte se produc și în țara noastră. Ele vor fi analizate, relevîndu-se particularitățile și compatibilitatea lor cu diverse medii de exploatare.

Pornind de la considerentele arătate lucrarea va trata în continuare tendințele actuale pe plan mondial în construcția de cabluri electrice și situația în țara noastră.

1. Situația pe plan mondial [1] — [12]

1.1 *Tendințe constructive în domeniul cablurilor de forță (energie)*

1.1.1 *Cabluri rigide de energie de joasă și medie tensiune, izolate cu hîrtie impregnată.* Aceste tipuri de cabluri se execută cu un conductor sau mai multe conductoare active din cupru sau aluminiu.

Cablurile unipolare sînt în general utilizate în instalații de curent alternativ și continuu. Cablurile cu mai multe conductoare se execută, fie în construcții cu cîmp neradial (construcție sectorizată), fie cu cîmp radial (construcție rotundă). Cablurile cu cîmp neradial se utilizează pînă la o tensiune între faze de 25 kV, iar ansamblul de conductoare este protejat, fie în manta de plumb, fie în manta de aluminiu (fig. 1). Cîmpul electric în aceste cabluri,

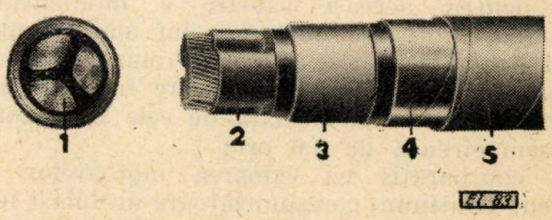


Fig. 1. Cablu cu cîmp neradial, înveliș izolant din PVC și faze sectorizate :
1 — partea conductoare sectorizată ; *2* — izolație din PVC ; *3* — înveliș izolant comun ; *4* — armătură metalică ; *5* — înveliș protector din PVC.

nefiind radial, generează componente tangențiale care nu permit ridicarea tensiunii de funcționare a cablurilor peste 25 kV. Pentru a depăși această limită a creșterii tensiunii de utilizare, cablurile se construiesc cu cîmp electric radial, în care scop se cunosc două tipuri de bază, și anume :

— cabluri cu suprafața metalizată — la care peste învelișul izolant al fiecărui element al

* Comunicare prezentată la a II-a Conferință de instalații pe țară, organizată de Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România și de Comitetul de Stat pentru Construcții, Arhitectură și Sistematizare, ale cărei lucrări s-au desfășurat în București la 23—25 octombrie 1968.

** Ing. *C. Cruceru* este șeful laboratorului de cabluri electrice de la I.C.P.E.

cablului se aplică o cămașă de hîrtie metalizată perforată (fig. 2);

— cabluri cu învelișuri individuale de plumb aplicate pe una sau pe cele trei faze ale cablurilor.

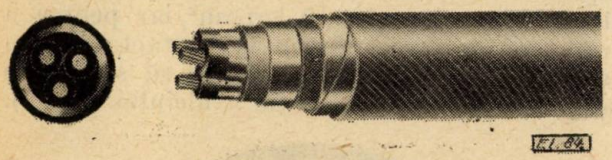


Fig. 2. Cablu trifazic cu suprafața metalizată, cu conductoare de formă rotundă și protecție dintr-un înveliș comun de plumb sau aluminiu.

Conductoarele cablurilor pot fi rotunde (la cablurile cu cîmp radial în mod obligatoriu) sau sector masiv sau cablate în cazul cablurilor cu cîmp neradial. Acestea din urmă au avantajul că sînt mai puțin ancombrante, mai ușoare, economice și cu o selfinducție aparentă inferioară cablurilor cu conducătoare rotunde.

Un domeniu important care a dat naștere la numeroase probleme în ultimul timp a fost protecția cablurilor în diferite medii în care ele funcționează.

Protecția clasică a acestor cabluri cu benzi de armare din oțel și iută utilizată în general în medii normale, se înlocuiește tot mai frecvent cu benzi de armare din oțel galvanizat fără iută sau alte învelișuri. O astfel de protecție este recomandată în medii cu pericol de incendiu.

Cablurile se execută în mod normal cu secțiuni pînă la 3 × 400 mm² în curent alternativ trifazat, iar în monofazat sau curent continuu, pînă la 1200 mm².

Pentru condițiile de montaj, acolo unde cablurile sînt pozate în terenuri cu pante (declivități) mari, în galerii, în canale sau puțuri de mină, aerian, în medii submarine sau subfluviale, se utilizează protecția cu sîrme de oțel protejate cu iută impregnată cu bitum dacă este vorba de medii normale sau cu sîrme de oțel blanc galvanizate fără învelișuri de iută impregnată dacă există pericol de incendiu sau de coroziune ușoară. În astfel de cazuri se remarcă tendința de a executa armarea cablurilor din dublu înveliș de fire plate de oțel galvanizat, în formă de „Z”

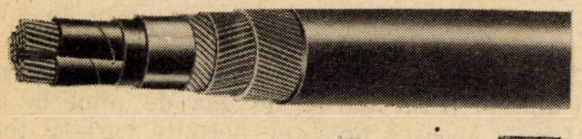


Fig. 3. Cablu trifazic armat cu fire de oțel zincat peste care s-a aplicat un înveliș protector anticorosiv din masă plastică (PVC).

aplicate în elice. În ultimul timp s-a făcut un pas înainte în domeniul protecțiilor cablurilor de energie cu izolație de hîrtie prin aceea că peste protecția normală din fire de oțel se aplică un înveliș extrudat de masă plastică, de regulă un compound de policlorură de vinil, care conferă cablurilor o mare etanșeitate și un

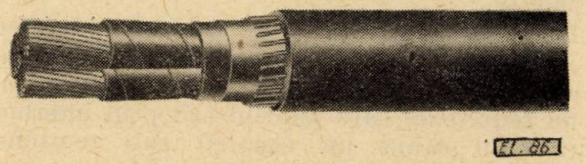


Fig. 4. Cablu pentru pozare în galerii, armat cu fire de oțel și protejat cu un înveliș de masă plastică (PVC sau polietilenă vulcanizabilă).

avantaj suplimentar în ceea ce privește rezistența la coroziune chimică și electrochimică (fig. 3). Pentru cablurile pozate în galerii sau autopurtate au fost asimilate cabluri cu fire de oțel, care spre deosebire de tipurile normale sînt învelite individual în manta de policlorură de vinil (fig. 4).

1.1.2. *Cablurile de energie de înaltă și foarte înaltă tensiune.* Din această familie de cabluri se produc în prezent pe plan mondial mai multe tipuri noi importante, și anume:

— cu izolație de hîrtie impregnată cu compounduri de ulei vîscoase;

— cu presiune internă de ulei fluid;

— cu presiune externă de gaz;

— cu presiune internă de gaz.

Fiecare din aceste tipuri de cabluri au calități electrice bine definite care fixează posibilitățile lor de utilizare. Dacă se ia în considerare o tensiune medie de exploatare a acestor cabluri de 66 kV, atunci gradientul electric maxim admisibil la suprafața conductorului în condiții normale se înscrie între 1 și 2,5 kV/mm.

a) Cabluri cu izolație de hîrtie cu impregnare vîscoasă. Cablurile cu izolație de hîrtie cu impregnare vîscoasă se utilizează, în principiu, pînă la tensiunea de 66 kV (între faze). Ele sînt monofazice sau trifazice și au conductoare de cupru sau aluminiu rotunde, cu ecran semiconductor la frontiera dintre partea conductoare și izolația de hîrtie, în scopul limitării la maximum a gradienților la suprafața conductorului (fig. 5). Cablurile sînt protejate în mantale de plumb

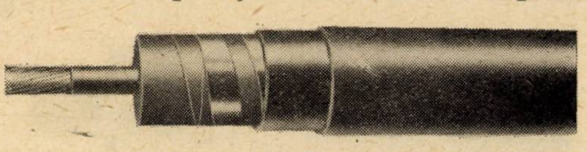


Fig. 5. Cablu monofazic izolat cu hîrtie impregnată cu ulei și protejat în plumb, pentru tensiunea de 66 kV.

peste care, ca protecție exterioară, se aplică un înveliș etanș de policlorură de vinil. În rețelele importante, dotate cu dispozitive de protecție selectivă, la feederii de alimentare se

utilizează, în locul cablurilor cu impregnare vîscoasă, conducte cunoscute sub denumirea de cabluri condensator care au rolul să compenseze diferențele de potențial datorite curentului capacitiv.

Din aceeași categorie de cabluri a început să se construiască, în ultimul timp, tipuri de cabluri noi destinate instalațiilor de kenotroane și de redresoare care alimentează prin intermediul unui cablu un electrod sub tensiune. Astfel de cabluri se construiesc pentru tensiuni cuprinse între 60 kV și 90 kV, se pozează vertical și sînt parcurse de curenți foarte mici, de ordinul a cîtorva zeci de miliamperi, curenți care nu provoacă decît o încălzire neglijabilă a acestora.

b) Cabluri cu ulei fluid. Astfel de cabluri sînt utilizate la tensiuni între faze de valori cuprinse între 66 și 500 kV. De asemenea, se pot utiliza la tensiuni între faze și sub 66 kV, la sarcini mai mari și la temperaturi de 80°C. Comparativ cu cablurile cu izolație de hîrtie de impregnare vîscoasă (cunoscute sub numele de cabluri cu dielectric solid) aceste cabluri au un înveliș izolant de hîrtie impregnată cu ulei fluid menținut sub presiune. Ele suportă variații de temperatură importante, fără să existe pericolul îmbătrînirii uleiului. În acest scop, rezervoare speciale de ulei sînt racordate liniei de cablu pentru preluarea efectelor de dilatare și contracție a uleiului la funcționare în plină sarcină sau în sarcină redusă.

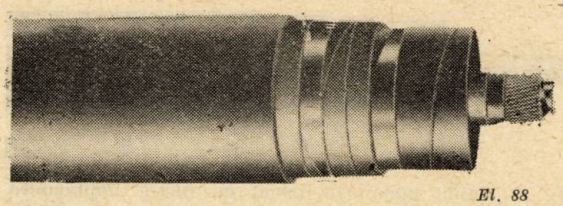
Pentru tensiuni de 66—90 kV cablurile pot fi unipolare sau tripolare. La tensiuni de exploatare de peste 90 kV se utilizează, în general, numai cabluri unipolare.

Cablurile unipolare pentru gama de tensiuni cuprinsă între 60 și 225 kV se realizează, actualmente pe plan mondial, în două tipuri constructive:

— cabluri de joasă presiune cu o presiune a uleiului de circa 0,3 kgf/cm²;

— cabluri de medie presiune, avînd o presiune minimă a uleiului în cablu de 1,3 kgf/cm².

Indiferent de tip cablul este format dintr-un conductor cu canal central, în cele mai multe cazuri construit pe o elice de oțel care este conectată cu rezervoarele de ulei (fig. 6). Peste

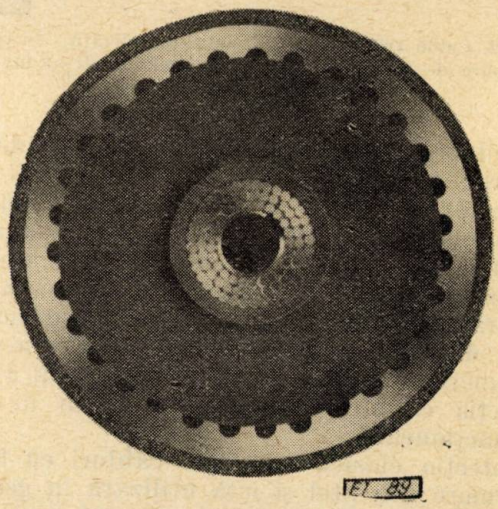


El. 88

Fig. 6. Cablu monopolar de curent continuu pentru tensiuni de 66—225 kV, cu canal central de ulei, izolat cu hîrtie.

conductorul de cupru se aplică un înveliș ecran semiconductor de limitare a gradientului și mantaua de plumb, de cele mai multe ori aplicată în scopul asigurării unei etanșeități cît mai bune, pe prese cu acțiune continuă, sistem extruder.

Cablurile unipolare pentru tensiuni nominale cuprinse între 225 și 425 kV au presiuni ale uleiului de cel puțin 10 kgf/cm², iar pentru a evita îmbătrînirea uleiului în contact cu conductorul de cupru se obișnuiește să se eloxeze canalul central de circulație a uleiului (fig. 7).



El. 89

Fig. 7. Secțiune printr-un cablu monopolar izolat cu hîrtie de curent continuu de 425 kV, cu canal central de ulei.

Peste 425 kV, deoarece pierderile dielectrice (tg δ) sînt proporționale cu pătratul tensiunii, are loc încălzirea suplimentară a cablului care se adaugă la încălzirea datorată efectului Joule. Pentru a limita acest lucru s-a pus la punct, pe plan mondial, o tehnică specială de răcire forțată a uleiului, care a permis transportul unor puteri de peste 1400 MVA sub 500 kV, la o secțiune de cupru de 400 mm².

La cablurile tripolare care nu pot fi utilizate la tensiuni de peste 66 kV și la secțiuni pînă la 3 × 400 mm², circulația uleiului fluid se asigură prin trei canale distincte de oțel izolate pentru etanșeitate, iar protecția se realizează prin mantale de plumb peste care se aplică o cămașă comună de material plastic (PVC sau polietilenă vulcanizabilă).

c) Cablurile cu presiune externă și internă. În aceste tipuri de cabluri, folosite la tensiuni de peste 35 kV, se pot admite gradienți de potențial superiori cablurilor cu circulație de ulei, datorită existenței unei presiuni mărite de gaz de pînă la 15 kgf/cm². Această presiune permite variații termice de volum mult mai mari și nu mai necesită existența unor rezervoare speciale etanșe, deoarece etanșeitatea se asigură prin introducerea cablurilor în tuburi de oțel (fig. 8, 9). Avantajele incontestabile ale acestor cabluri sînt determinate de:

— o excelentă protecție mecanică asigurată prin tuburi de oțel cu grosimea de cîțiva mili-

metri protejate contra coroziunii printr-un înveliș izolant și o protecție catodică;

— posibilitatea de mărire ulterioară a capacității de transport cu cheltuieli minime;

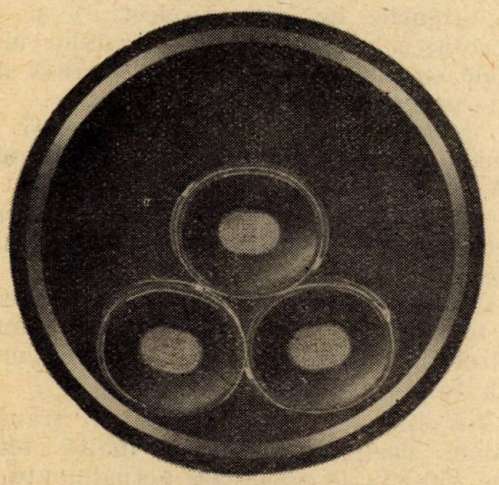


Fig. 8. Cablu trifazic cu presiune externă de gaz, izolat cu hîrtie, pentru tensiuni de serviciu pînă la 225 kV, protejate în țeavă de oțel și polietilenă reticulată.

— capacitate de transport superioară cablurilor cu impregnare vîscoasă, deoarece astfel de cabluri pot funcționa în mod curent la temperaturi de cel puțin 80°C;

Capacitatea sporită de transport la aceste cabluri se asigură, în ultimul timp, prin înlocuirea mantalei de plumb cu manta de polietilenă recticulată care permite o presiune

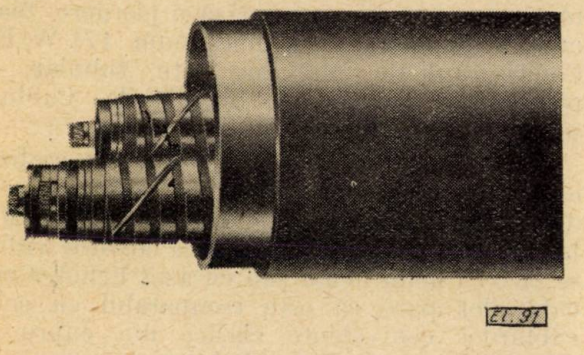


Fig. 9. Cablu de 225 kV, cu presiune externă de gaz, protejat în înveliș etanș din țeavă de oțel și polietilenă.

externă mărită a gazului în tubul de oțel, fără să provoace o deteriorare a mantalei etanșe ca în cazul mantalei de plumb.

La cablurile cu presiune internă de gaz, ameliorarea gradientului de funcționare al izolației se datorește prezenței în interiorul cablului a azotului la presiunea de 15 kgf/cm², care permite ridicarea gradientului lor de ionizare, rigiditatea dielectrică a azotului la această presiune fiind de circa 2,5 ori mai mare decît a uleiului de transformator. Astfel de cabluri se utilizează actualmente pe scară largă în rețeaua urbană de forță a orașelor și este de dorit să se studieze și la noi oportunitatea folosirii acestor cabluri (fig. 10).

Ceea ce se impune în acest domeniu este asigurarea accesoriilor de joncțiune care la noi este o problemă mai dificilă. Din această cauză este necesară organizarea unui sector de fabricație a accesorilor de joncțiune ale cablurilor, inclusiv a instalațiilor de circulație

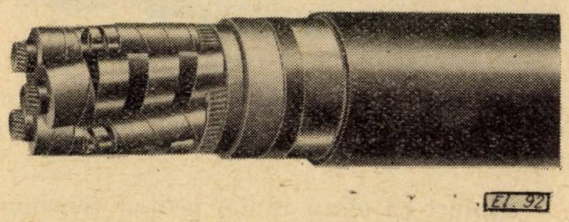


Fig.10. Cablu de 110 kV cu presiune internă de gaz (azot), cu circulația gazului prin conducte de oțel spiralate.

a uleiului sau gazului (conducte, rezervoare, instalații de protecție catodică).

1.1.3. *Cabluri rigide de joasă și medie tensiune izolate cu elastomeri sau mase plastice.* În acest domeniu secțiunile cablurilor se realizează între 1,5 și 185 mm², iar tensiunile de exploatare sînt cuprinse între 250 și 35000 V.

Cablurile izolate cu elastomeri sau mase plastice pot substitui astăzi într-o serie de domenii cablurile cu izolație de hîrtie impregnată, mai ales în cazul pozărilor nearmate și, îndeosebi, atunci cînd nu există pericolul unor curenți de scurtcircuit prea mari.

În ultimul timp s-au făcut progrese importante în construcția acestor cabluri, prin utilizarea, în locul izolațiilor clasice, a izolațiilor din PVC, polietilenă, policloroprenbutil sau cauciuc siliconic. Din această grupă se poate cita o serie de construcții noi de cabluri, și anume:

— cabluri cu cîmp neradial, monofazice și trifazice izolate cu cauciuc butil și manta de protecție de policloropren, folosite pînă la 7500V în locuri umede, în medii conținînd vapori corosivi sau prezentînd pericol de incendiu sau

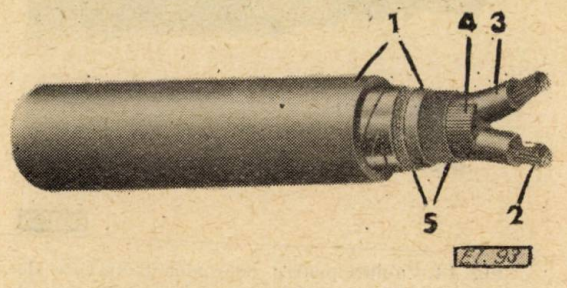


Fig. 11. Cablu de forță cu izolație de cauciuc butil: *1* — învelișuri protectoare de policloropren; *2* — conductoare de cupru sau aluminiu; *3* — înveliș izolant de cauciuc butil; *4* — umplutură de cauciuc nevulcanizat; *5* — țesătura din fire de iută.

explozie, săli cu baterii de acumulatoare sau pentru electroliză și, în general, în medii cu temperaturi ridicate (fig. 11);

— cabluri cu cîmp radial cu izolație de PVC și manta de protecție din cauciuc butil nevulcanizat, armate și nearmate, pentru tensiuni pînă la 15000 V (fig. 12);

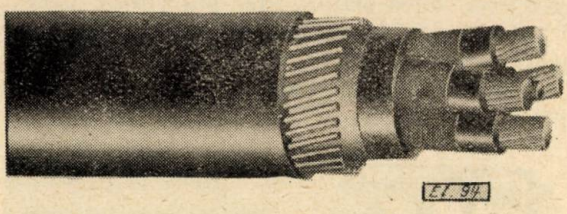


Fig. 12. Cablu cu cîmp radial, cu izolație de PVC și manta de protecție din cauciuc butil nevulcanizat, pentru tensiuni de serviciu de 15 kV.

— cabluri cu cîmp radial pentru tensiuni de serviciu de 22 000 V cu izolație de polietilenă și manta de PVC pentru conexiuni la linii aeriene (fig. 13);

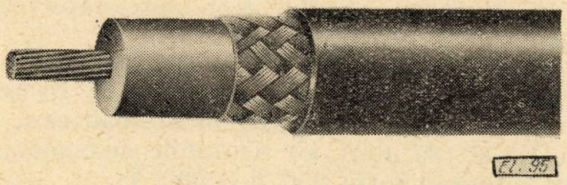


Fig. 13. Cablu monofazat cu cîmp radial de 22 kV, cu izolație de polietilenă și manta de PVC, pentru conexiuni la linii aeriene de înaltă tensiune.

— cabluri pentru echipamente navale de 250 și 750 V cu izolație de polivinil (fig. 14);
— cabluri aeriene pentru distribuții aeriene cu izolație de cauciuc vulcanizat și manta de

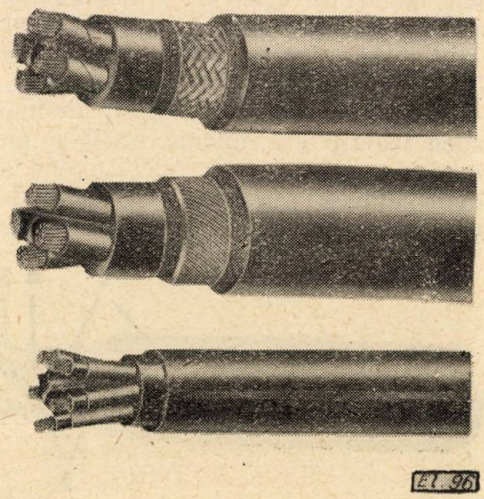


Fig. 14. Cabluri pentru echipamente navale de 250—750 V, cu izolație de policlorură de vinil și manta de protecție din policloropren.

policloropren pentru iluminatul public, branșamentul construcțiilor civile și industriale;

1.1.4. Cabluri de energie flexibile. Varietatea mare de produse industriale și electrocasnice care folosesc cabluri electrice a impus în ultima vreme apariția unor noi și numeroase tipuri de cabluri, în care masele plastice și elastomerii sintetici dețin locul de frunte. Se pot cita îndeosebi ca tipuri mai importante:

— cablurile de sudură electrică și pentru alimentarea mașinilor sau aparatelor electrice mobile cu izolație de cauciuc și tresă de protecție pentru tensiuni de 750 V;

— cablurile pentru autovehicule și mașini termice pentru tensiuni de serviciu pînă la 24 V cu izolație din PVC;

— cablurile pentru dragline, conveioare, foreze cu izolație de policlorură de vinil și manta de policloropren sau cauciuc butil;

— cabluri pentru instalații radiologice pentru tensiuni de 100 kV, în curent continuu, cu izolație de cauciuc butil semiconductor, în tresă textilă.

1.1.5. Cabluri criogene. Pentru transportul energiei electrice la foarte înaltă tensiune, peste 250 kV, se cercetează actualmente execuția cablurilor cu materiale supraconductoare (aliaje de niobiu) cu răcire cu heliu lichid sau azot lichid. Ele vor permite transportul unor puteri de peste 1500 MVA și eliminarea aproape completă a pericolelor ce survin la scurtcircuite [15] — [17].

După cum se arată în [15] — [17], au fost executate cabluri de acest tip care transportă puteri de ordinul 760 MVA, la tensiunea de 275 kV, 31 600 A, 50 Hz, din aluminiu electrotehnic cu rezistivitatea de volum la 20°K de $3 \cdot 10^{-9}$ Ω cm. Partea conductoare a cablului, care este din aluminiu multifilar, avînd aproximativ 100 000 fire, generează o pierdere foarte mică în exploatare, de maximum 171 W/Km. Conductorul de aluminiu este tubular, iar pierderile dielectrice sînt neglijabile. Cablurile se răcesc cu azot lichid.

Pe lîngă construcția amintită au fost realizate cabluri experimentale din materiale supraconductoare (niobiu) care pot transporta 760 MVA la 275 kV și 1800 A. Răcirea acestor cabluri se face cu heliu lichid sau cu azot lichid. Costul cablurilor pare că este comparabil cu cel al cablurilor echivalente clasice din cupru sau aluminiu, cu izolație de hîrtie.

În ultimul timp au fost realizate cabluri tubulare din plumb supraconductor, izolate cu hîrtie și răcite cu heliu sau din niobiu-zirconiu, sub formă multifilară, cu diametre foarte mici ale firelor componente (0,19 mm), pentru a conferi cablurilor o mare flexibilitate [15]. Partea conductoare propriu-zisă a cablurilor este introdusă într-o țeavă exterioară metalică, iar între țeavă și cablu se creează vidul.

1.2. Tendințe constructive în domeniul cablurilor de telecomunicații.

Diversitatea instalațiilor de telecomunicații, pe plan mondial a impus concomitent și diversificarea tipurilor de cabluri de telecomu-

nicații în funcție de natura instalațiilor (fixe sau mobile) și de frecvență, acestea putîndu-se împărți în următoarele grupe principale;

— cabluri telefonice rigide pentru instalații pentru abonați sau telefonie privată;

— cabluri telefonice rigide pentru centrale;

— cabluri telefonice rigide pentru rețele urbane, la frecvență vocală (fig. 15);

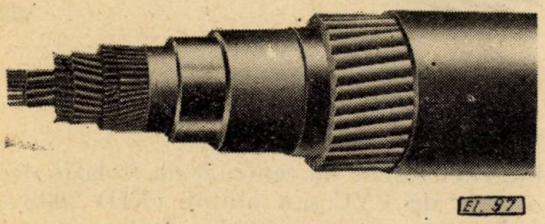


Fig. 15. Cablu telefonic simetric cu 2200 circuite telefonice pentru rețele urbane care funcționează la frecvență vocală.

— cabluri telefonice rigide pentru rețele interurbane de joasă frecvență;

— cabluri telefonice rigide pentru rețele interurbane de înaltă frecvență;

— cabluri magistrale de mare distanță;

— cabluri coaxiale de înaltă frecvență (fig. 16);

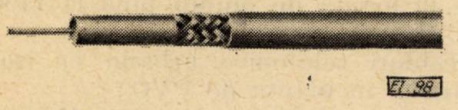


Fig. 16. Cablu coaxial de înaltă frecvență cu izolație de polietilenă, ecranat și protejat cu PVC.

— cabluri submarine telegrafice sau telefonice;

— cabluri pentru transmisia impulsiilor foarte scurte, pentru sincrociclotroane (fig. 17).

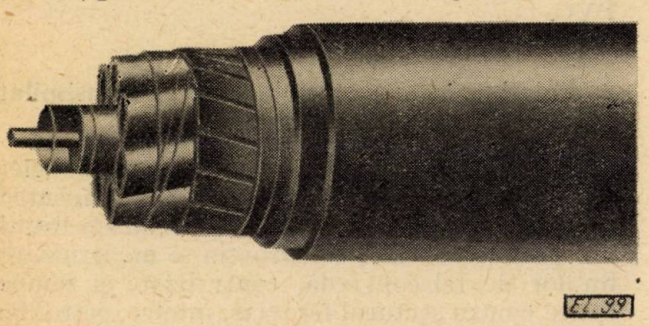


Fig. 17. Cablu pentru transmisia impulsurilor foarte scurte, pentru sincrociclotroane.

Tendințele în construcția de cabluri de telecomunicații sînt îndreptate în general către:

— înlocuirea hîrtiei cu policlorură de vinil la izolarea cablurilor urbane de frecvență vocală și interurbane de joasă frecvență;

— folosirea izolației aer-polietilenă la cablurile coaxiale pentru transmisia de impulsuri scurte;

— extinderea pe scară largă a cablurilor combinate cu circuite simetrice și coaxiale.

Progresele cele mai însemnate au fost făcute în domeniul cablurilor telefonice interurbane de înaltă frecvență cu pupinizare ușoară și foarte ușoară, care au permis realizarea pe un singur circuit pînă la 12 căi telefonice simultane, cu benzi de frecvență pînă la 300 kHz. În urma perfecționării amplificatoarelor cu bandă largă, cu putere de amplificare mare (pînă la 10 N), s-a renunțat la pupinizarea circuitelor, folosind pentru transmisiuni de înaltă frecvență cabluri simetrice nepupinizate. Avantajul economic incontestabil al acestor cabluri rezultă și din faptul că distanța între stațiile deservite de cabluri de înaltă frecvență nepupinizate este de 100—120 km, pe cînd la cabluri pupinizate este de maximum 60 km. Din aceste motive pupinizarea cablurilor de înaltă frecvență este în părăsire. Pentru mărirea numărului de comunicații prin cablurile interurbane a început să se utilizeze tot mai mult izolația de cordel din stiroflex, care a permis creșterea spectrului de frecvență pînă la 800 kHz.

Concomitent cu cablurile interurbane simetrice, o largă dezvoltare au cunoscut și cablurile cu circuite coaxiale care au permis extinderea frecvenței de transmisie a semnalelor pînă la 12 000 kHz și a distanței de transmisie a semnalelor pînă la 10 000 km (pentru semnale telefonice) și pînă la 3 000 km pentru semnale de televiziune.

2. Realizări în țara noastră

Creșterea sistematică a necesităților economiei naționale de cabluri de forță și telecomunicații a dus la aplicarea multor tendințe cunoscute actualmente pe plan mondial, în industria de cabluri electrice. Ele s-au materializat în perfecționarea și modernizarea continuă a construcțiilor, în extinderea nomenclatorului de produse de cabluri. Au fost asimilate tipuri noi de:

— cabluri de forță (de energie) cu izolația de hîrtie, mase plastice sau elastomeri sintetici;

— cabluri telefonice;

— cabluri de centrală, măsură, comandă și semnalizare.

2.1. În domeniul cablurilor de forță (energie).

a) A fost extinsă gama de utilizări a cablurilor de cupru și aluminiu cu izolație de cauciuc în manta de plumb, prin folosirea unor noi tipuri de cauciucuri, în special sintetice (butil, neopren, ș.a.), permițînd folosirea acestor tipuri de cabluri la:

— instalațiile cu acțiune corosivă intermitentă (tip CPI, ACPI);

— în locuri supuse incendiilor.

b) S-a extins domeniul de utilizare a cablurilor de forță cu izolație și manta de PVC, iar gama de secțiuni a crescut la 3 × 240 mm²,

cu perspectiva extinderii pînă la 3 × 400 mm² prin punerea în funcțiune la F.C.M.E. a unei linii tehnologice de fabricație a cablurilor în mase plastice.

c) Concomitent cu modernizarea construcției și fabricației cablurilor de forță au fost puse la punct noi metode de încercări de tip ale acestora, dintre care mai importante sînt următoarele:

— metode de încercare la îmbătrînire sub sarcină, conform prescripțiilor CIGRÉ și CEI după regula de la 6 luni la 2 ani cu menținere sub tensiune majorată de 2,5 U_n și curent de sarcină. Încercarea are ca scop verificarea cablului în condiții de lungă durată și comportarea materialelor izolante în asemenea condiții;

— încercări la undă de impuls, foarte utile la schimbarea construcției cablurilor și în general la încercări de tip (conform CEI — Publicația 230 — 1966);

— încercări la descărcări parțiale.

d) Se asimilează, în cadrul unei noi fabrici, seria unitară de cabluri de forță de 1—10 kV cu izolație și manta de PVC cu protecție etanșe de PVC peste banda de armare a cablurilor care va asigura posibilitatea montării cablurilor în medii puternic corosive (în prezența vaporilor chimici activi, acizi sau baze). Cablurile se realizează în construcția cu trei sau patru conductoare active de tip 4 × 2,5 mm² pînă la 3 × 120 + 70 mm² de 1 kV sau pînă la 3 × 400 mm² de 6 și 10 kV. Forma conductoarelor active va fi rotundă sau sectorizată. Se întrevede extinderea pînă la 35 kV a construcțiilor de cabluri de aluminiu, și cupru în masă plastică (fig. 1).

e) Se întrevede, pe baza unor cercetări care se efectuează la I.C.P.E., organizarea fabricației accesoriilor de cabluri.

2.2. În domeniul cablurilor telefonice.

a) Au fost realizate cabluri telefonice urbane cu izolație de hîrtie cu pînă la 1224 circuite telefonice de tipul CTU 1224 × 2 × 0,5 (STAS 6006—66). De asemenea, s-au asimilat cabluri telefonice urbane cu pînă la 100 circuite cu izolație de polietilenă, în manta de PVC (NID 2044—66) care au rezistență minimă de izolație de 5000 MΩ km față de 2000 MΩ, în cazul cablurilor cu izolație de hîrtie.

b) S-au realizat apoi cabluri telefonice interurbane cu izolație de hîrtie și manta de plumb (NID 2090—67) de tip TIHP care pot fi folosite în rețelele telefonice interurbane pozate în tuburi, suspendate aerian pe un cablu purtător fixat pe stîlpi, peste terenuri umede, ape stătătoare și la traversări de șosele și căi ferate. Astfel de cabluri se execută cu construcție în cuartă DM (3 × 4 × 0,9 — 114 × 4 × 0,9) sau în cuartă stea (4 × 1,2 — 19 × 4 × 1,2) (fig. 18).

c) La schimbătoarele telefonice, la cablajul interior al centralelor telefonice, la racordarea cablurilor urbane cu manta de masă plastică, la repartitoarele telefonice au fost realizate

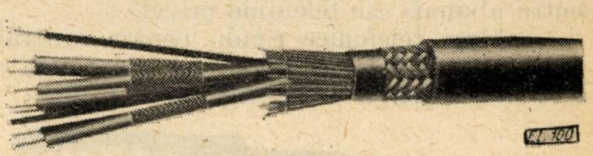


Fig. 18. Cablu telefonic interurban combinat cu circuite în cuartă D.M și cuartă stea.

cabluri telefonice de centrală cu izolație de PVC în manta de PVC sau plumb (NID 2033—66), cu elemente unice, perechi, terțe, cuarte sau chinte.

d) Pentru rețelele telefonice rurale au fost asimilate cabluri cu izolație de polietilenă în manta de PVC (NID 2140—67) și cabluri cu izolație de polietilenă în manta de PVC pentru radioficare (NID 1244 — 63).

În concluzie în domeniul cablurilor telefonice au fost asimilate următoarele tipuri noi de cabluri:

— cabluri telefonice urbane cu izolație de hîrtie în manta de plumb pînă la 1400 circuite (CTU);

— cabluri telefonice urbane cu izolație de polietilenă în manta de PVC;

— cabluri telefonice de centrală cu izolație de PVC în manta de PVC sau plumb;

— cabluri telefonice rurale cu izolație de polietilenă în manta de PVC pentru radioficare;

— conducte ecranate cu izolație de polietilenă;

— cabluri izolate cu polietilenă în manta de PVC.

3. Noi tipuri de cabluri indicate a fi asimilate în Republica Socialistă România

Dezvoltarea transporturilor de energie electrică și creșterea tensiunii limită în transmisia electroenergetică din Republica Socialistă România pînă la 440 kV, construcția și modernizarea liniilor de telecomandă, centralizare și semnalizare pentru sectorul feroviar, minier, petrolifer, dezvoltarea și modernizarea liniilor de telecomunicație urbană și interurbană, concomitent cu construcția noilor centrale telefonice automate în principalele centre economice și culturale ale țării, pune cu o deosebită acuitate asimilarea de noi tipuri de cabluri și conducte electrice, care așa cum s-a arătat în prima parte a lucrării trebuie să satisfacă cele mai variate necesități ale economiei naționale.

După cum s-a menționat aceste tipuri noi de cabluri și conducte electrice de energie și telecomunicații trebuie să utilizeze în construc-

ţia lor materiale care capătă o largă folosire pe plan mondial, cum sînt: masele plastice (policlorura de vinil, polietilena, teflonul, polipropilena etc.), cauciucul sintetic (cauciucul butil, policloroprenul etc.), aluminiul ca înlocuitor al corpului, atît la partea conducătoare, cît şi ca material de protecţie, materialele supraconductoare, ca niobiul, uleiurile electroizolante sintetice etc.

Analiza efectuată în sensul celor menţionate şi ţinînd seamă de cerinţele diferitelor sectoare industriale corelate cu posibilităţile actuale şi viitoare ale industriei de cabluri şi conducte electrice din ţara noastră ne permite să apreciem că sînt indicate a fi asimilate următoarele tipuri noi de cabluri.

3.1. Cabluri de forţă (energie).

În construcţia acestor cabluri cu izolaţie şi manta de mase plastice pentru sistemele energetice pînă la 35 kV este necesar să se utilizeze sistemul constructiv solidal (cabluri cu faze sectorizate, fie din cupru, fie din aluminiu masiv) îndeosebi cu secţiuni pînă la 95 mm² inclusiv, urmînd ca peste această secţiune, din considerente de montaj, să se folosească construcţia de conductor cablat flexibil. De asemenea să se asimileze, pentru realizarea acestor cabluri, PVC de 20 kV, cum şi polietilena reticulată vulcanizabilă pentru tensiuni de 6, 10, 20 şi 35 kV.

3.2. Cabluri miniere.

Prin acestea se înţelege întreaga gamă de cabluri miniere pentru forţă şi lumină pînă la 10 kV necesare combinelor miniere, dotate cu izolaţie de cauciuc butil şi manta de protecţie din policloropren.

3.3. Cabluri de telecomunicaţii.

Acestea sînt cablurile folosite pentru transmisii interurbane, cum şi pentru feederi de televiziune pînă la frecvenţa de 10 MHz, în special cabluri coaxiale cu izolaţie de polietilenă, precum şi cabluri de telecomunicaţii combinate din circuite coaxiale şi circuite simetrice pentru nevoile telefoniei automate sau pentru sectorul feroviar, care capătă o mare importanţă în dezvoltările viitoare preconizate în ţara noastră.

3.4. Cabluri şi conducte speciale.

Acestea sînt pentru industria siderurgică şi metalurgică, instalaţii petrolifere, navale, instalaţii care funcţionează la temperatură ridicată şi la solvenţi unde urmează să se folosească izolaţii din cauciucuri siliconice sau chiar izolaţii minerale, permiţînd lărgirea condiţiilor de funcţionare a instalaţiilor pînă la temperatura de 300—400° C.

Bibliografie

[1] *Hilgendorff, H.J.* Bleimantellose F & G. Hochspannungskabel mit Kunstoffisolierung. F. & G—Rdsch, Heft 38, 1955, p. 282—283.

[2] *Kreuger, F.R.* Discharge detection in high voltage equipment. London, Temple Press Books, 1964.

[3] *Böning, W.* Luftgehalt und Luftspaltverteilung geschichteter Dielektrika. In: Arch. für Electrotech, Band **48**, 1963, p. 7—22.

[4] *Geis, H.* Messung von Teilentladungen in Kunstoffisolierten Kabeladern in Durcblauf. F. & G — Rdsch, Heft 56, 1968.

[5] *Kreuger, F.H.* Scanning methods. Scanning cores for discharges. Cigré—Rapports, 1966, nr. 209, vol. II.

[6] *Kitchin, D.W.* şi *Prat, O. S.* An accelerated screening test for polyethylene high-voltage insulation. In: AIEE Trans. on Power App. and Syst., Band **81**, 1962, p. 112—121.

[7] *Crowdes, G.J.* Polyethylene promises improved high voltage cable. In: Electrical World, Bd. **159**, 1963, Heft 10, p. 76—79, p. 142.

[8] *Schmidt, B.* Die 20 kV — Kabel des Werkes Hattorf. In: Kali und Steinsalz, Bd. **3**, p. 313 — 348.

[9] *Schmidt, B.* Das 110 kV Gasinnendruck-Kabel in Untwerk Haltingen der Deutschen Bundesbahn nach zweijährigen Betrieb. In: Elektr. Bahnen, Bd. **32**, 1961, p. 60 — 64.

[10] *Süderhauf, H.* Die 110 kV Gasdruk-Rohrkabelanlage bei der Grosskaftwerk Franken AG in Nürnberg. In: Siemens Zeitschrift, Bd. **34**, 1960, p. 819—823.

[11] *Schmidt, B.* Ionisationseinsatzspannung von Gasinnendruckkabeln mit verschiedenen Gasfüllungen. In: BBC—Nachr., Band **45**, 1963, p. 102—103.

[12] *Sünderhauf, H., Zagorni, V.* Gasinnendruckkabel für Hochspannungsübertragungen. In: Siemens Zeitschrift, Bd. **41**, 1967, p. 38—44.

[13] *Lücking, H.W.* Kabel für Höchst-und Niederspannung. In: ETZ—A, Band **85**, 1964, p. 615—621.

[14] *Rogers. E.C.* şi *Edwards, R.D.* Desing for a 750 MVA Superconducting Power Cable. In: Electrical Review, vol. **181**, nr. 10, sept 1967, p. 348.

[15] *Kafka. A., Tennenlohe, W.* Tiefgekühlte Kabel zum Übertragen elektrischer Energie. In: ETZ—B, Heft 10, 1968, p. 272—277.

[16] *Wilkinson, K.* Prospect of employing conduction at low temperature in power cables and in power transformers. In: Proc. Inst. electr. Eng., Bd. **113**, 1966, p. 1509—1521.

[17] *Klaudy, P.* Elektrische Energie verscrgung und Wertragungseinrichtungen mit tiefgehühlten Leitern. In: Electrotechn. und Maschinenbau, Bd. **82**, 1965, p. 275—281.

Intrat în redacţie la 19.IX.1968

Influența finișului asupra proprietăților sticlotextolitului cu rășini fenolformaldehidice modificate

GRIGORE NICOLA* — București

CZ 621.315.614.73:621.315.616.96.002.4

Dezvoltarea rapidă a industriei noastre constructoare de mașini și aparate electrice a impus studierea de noi tipuri de materiale stratificate, caracterizate prin înaltă rezistență termică, prin bune proprietăți mecanice și electrice în condiții normale și în medii cu umiditate ridicată.

Pentru fabricarea unor asemenea materiale stratificate se folosesc ca lianți rășinile fenolformaldehidice, melaminoformaldehidice, epoxidice și siliconice. Materialele stratificate obținute cu una dintre aceste rășini având ca suport țesătura de sticlă electrotehnică, sînt denumite în R.S.R. sticlotextolit.

Pentru fabricarea sticlotextolitului se folosesc țesături de sticlă electrotehnică, cu un conținut ridicat în bor și aluminiu și cu o alcalinitate scăzută (conținut în Na_2O sau K_2O, sub 1%). Compoziția chimică a sticlei electrotehnice a fost indicată într-o lucrare publicată anterior [1].

În general firele de sticlă conțin o substanță numită apret, aplicată în scopul protejării firelor pentru a suporta operațiile de toarcere și de obținere a țesăturilor de sticlă. Prezența apretului influențează în mod nefavorabil asupra adeziunii rășinii de impregnare, la firele de sticlă. Îndepărtarea apretului se face de obicei prin ardere la temperatura de 300—400°C, sau prin spălare cu solvenți sau detergenți.

Prin îndepărtarea apretului se obțin țesături de sticlă dezancolate, care posedă proprietăți mecanice slabe și aderență scăzută față de rășina de impregnare. Acest neajuns se înlătură prin tratarea țesăturilor de sticlă cu o substanță numită uneori agent de îmbunătățirea aderenței sau de legătură sau mai general finiș. Dintre agenții de legătură indicați de literatură, folosiți cu rășinile fenolformaldehidice, melaminoformaldehidice și epoxidice citățm Finish A 1100 [1], Rhodrosil Resine 3100 [2].

Țesăturile de sticlă tratate în prealabil cu finiș, se impregnează cu una din rășinile menționate mai înainte, pe mașini obișnuite de impregnare. Presarea țesăturilor de sticlă impregnate se efectuează în funcție de natura rășinii de impregnare.

În lucrarea [1] menționată mai înainte sînt prezentate proprietățile diferitelor tipuri de sticlotextolit fabricat în alte țări.

Lucrări experimentale

Proprietățile sticlotextolitului obținut de noi și prezentate în lucrarea [1] au fost comparabile cu acelea ale sticlotextolitului având ca liant rășini fenolformaldehidice, obținut de firme cunoscute (tabelele 1, 2 și 3). În anul 1967, la F.C.M.E. — București, s-a pus la punct tehnologia unui sticlotextolit cu proprietăți îmbunătățite față de ale aceluia prezentat în lucrarea [1], avînd la bază rețeta indicată în [3].

Tehnologia de fabricare a sticlotextolitului se prezintă în continuare.

Țesătura de sticlă, cu o grosime de 0,16 mm, fabricată în R.S.C., s-a rulat pe o țeavă metalică, prevăzută cu orificii, pentru eliminarea gazelor (rezultate din apret) și s-a introdus într-un cuptor pentru dezancolare. Dezancolarea s-a efectuat timp de 18 ore, dintre care două ore la temperatura de 250° C, iar restul de 16 ore la temperatura de 350° C. S-a lăsat apoi țesătura să se răcească la temperatura camerei, apoi s-a impregnat cu o soluție 1% de finiș Rhôdrosil Resine 3100, fabricat de firma Rhône Poulenc —Franța.

Impregnarea (tratarea cu finiș) s-a efectuat pe mașina orizontală 0_2, la temperatura de 100—110° C și la o viteză de impregnare de 4—5 m/min.

Țesătura tratată cu finiș s-a impregnat cu un lac fenolformaldehidic special, fabricat după rețeta [3] și introdus în fabricație în cursul anului 1968.

Lacul fenolformaldehidic a avut următoarele caracteristici:

conținut în substanțe nevolatile, 54,5%;
viscozitatea, cupa Ford 4, 55 s.

Impregnarea țesăturii de sticlă cu lac fenolformaldehidic s-a efectuat cu aceeași mașină și în aceleași condiții ca la impregnarea cu finiș. În paralel s-a impregnat țesătură de sticlă dezancolată netratată cu finiș Rhôdrosil Resine 3100.

Țesăturile impregnate tratate sau nu cu finiș au avut următoarele caracteristici:

— conținut în rășină uscată, 45 ± 5%;
— conținut în rășină solubilă, 80—90%.

Țesăturile impregnate s-au tăiat la dimensiunile de 950 × lățimea țesăturii, apoi s-au presat plăci cu grosimea de 1,3 și 10 mm, în următoarele condiții:

— temperatura de presare, 160° C;
— timp de presare, în funcție de grosime
grosimea 1 și 3 mm, 20 min/mm;
grosimea 10 mm, 15 min/mm;
— presiunea specifică
inițial 40 min, 25 kgf/cm²,
final (restul timpului), 50 kgf/cm².

* *Gr. Nicola* este inginer principal la F.C.M.E.

Proprietăţile sticlotextolitului obţinut

Din plăcile de sticlotextolit cu finiş şi fără finiş s-au executat epruvete pe care s-au determinat proprietăţile fizico-mecanice, electrice şi termice în condiţii normale; la temperatura de 155°C şi după menţinere în apă timp de 434 zile; în camera Weiss la umiditatea relativă de 95% şi temperatura de 40°C, timp de 65 zile în apă şi la temperatura de 155°C, timp de 65 zile.

Rezistenţa la încovoiere, rezistenţa la şoc, stabilitatea termică Martens şi absorbţia de apă s-au determinat pe epruvete cu dimensiunile de 120 × 15 × 10 mm, iar rezistenţa la compresiune pe cuburi cu dimensiunile de 15 × × 10 × 10 mm.

Rezistenţa la despicare s-a determinat pe epruvete cu dimensiunile de 15 × 10 × 10 mm, iar greutatea specifică pe epruvete cu dimensiunile de 10 × 10 × 10 mm.

De asemenea, absorbţia de apă s-a mai efectuat pe epruvete cu dimensiunile de 50 × × 50 × grosimea sticlotextolitului, în mm.

În tabela 1 se prezintă proprietăţile fizico-termice ale sticlotextolitului în foi şi în plăci. Din această tabelă se constată că absorbţia de apă pentru sticlotextolitul ce conţine ţesătură de sticlă tratată cu finiş corespunde N.I.D. 1126—63 „Sticlotextolit E, cu răşini epoxidice". De asemenea, se constată că sticlotextolitul ce conţine ţesătură de sticlă netratată cu finiş are absorbţia de apă mai mare decît acela care conţine ţesătură tratată cu finiş, probabil datorită formării de legături de hidrogen cu grupele oxidrilice ale ţesăturii de sticlă şi el corespunde totuşi N.I.D. 1325—63 „Sticlotextolit B, cu răşini bachelitice".

În figura 1 se dă variaţia absorbţiei de apă a sticlotextolitului timp de 434 de zile.

În tabela 2 se dau proprietăţile electrice ale sticlotextolitului în foi (grosime 1 şi 3 mm), în condiţii normale şi după menţinere timp de 30 zile în apă şi camera Weiss.

Din tabelă reiese că sticlotextolitul ce conţine ţesătură de sticlă cu finiş are proprietăţi superi-

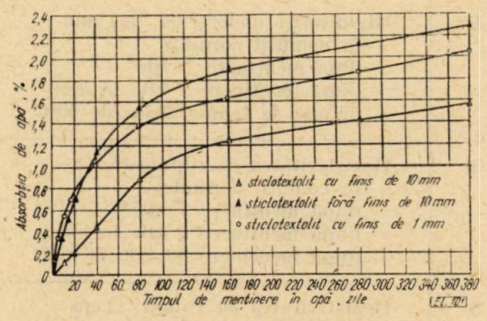


Fig. 1. Variaţia absorbţiei de apă a sticlotextolitului cu răşini fenolformaldehidice în funcţie de timpul de menţinere.

oare faţă de sticlotextolitul ce conţine ţesătură de sticlă netratată cu finiş, atît în condiţii normale cît şi după menţinere la umiditate. Astfel, rigiditatea dielectrică a sticlotextolitului fără finiş este cu circa 20% mai mică decît aceea a sticlotextolitului ce conţine finiş. Prin menţinere la umiditate, diferenţa celor două tipuri de sticlotextolit se accentuează.

Diferenţa netă dintre cele două tipuri de sticlotextolit se constată în special la tangenta unghiului de pierderi dielectrice la 50 Hz, în condiţii normale cît şi după menţinere la umiditate. Această diferenţă dintre cele două tipuri se explică prin faptul că finişul intră în reacţie chimică cu grupele oxidrilice conţinute de ţesătura de sticlă şi cu grupele metilolice conţinute de răşina fenolformaldehidică.

Proprietăţile fizico-termice ale sticlotextolitului în foi şi în plăci *Tabela 1*

Nr. crt.	Denumirea caracteristicii	Metoda de încercare	NID 1325—63	NID 1126—63	Ţesătura de sticlă	
					fără finiş	cu finiş
1	Greutatea specifică, gf/cm³	STAS 5886—58	1,6—1,9	min 1,65	1,67	1,71
2	Absorbţia de apă, %					
	— pe epruvete 120 × 15 × 10 mm					
	după menţinere 24 ore		max 2	max 0,4	0,406	0,230
	după menţinere 96 ore		—	—	0,980	0,320
	după menţinere 30 zile		—	—	1,250	0,880
	— pe epruvete 50 × 50 × 1 mm					
	după menţinere 24 ore		—	—	0,960	0,460
	după menţinere 7 zile		—	—	1,510	0,720
	după menţinere 30 zile		—	—	1,850	0,837
	— pe epruvete 50 × 50 × 10 mm					
	după menţinere 24 ore		—	—	0,160	0,119
	după menţinere 96 ore		—	—	0,280	0,181
	după menţinere 30 zile		—	—	1,050	0,650
3	Stabilitatea termică Martens, °C	STAS 6174—60	min 185	min 180	200	220
4	Conductibilitatea termică, W/cm, °C	—	—	—	$4{,}5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$

Tabela 2

Proprietățile electrice ale sticlotextolitului în foi în condiții normale și în timpul menținerii la umiditate

Nr. crt.	Denumirea caracteristicii	Metoda de încercare	Țesătura de sticlă	
			cu finiș	fără finiș
1	Rigiditatea dielectrică, kV/mm			
	— în condiții normale	STAS 6257—60	26,5	31,8
	— după menținere 7 zile*		21,0	30,2
	— după menținere 7 zile în apă		18,9	30,5
	— în ulei la temperatura de 90°C		23,1	30,8
2	Rezistivitatea de suprafață, Ω			
	— în condiții normale	STAS 6107—59	$1,5 \cdot 10^{13}$	$2,5 \cdot 10^{13}$
	— după menținere 7 zile*		$1,7 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{12}$
	— după menținere 7 zile în apă		$1,6 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^{12}$
	— după menținere 30 zile în apă		$1,2 \cdot 10^{11}$	$7,5 \cdot 10^{11}$
3	Rezistivitatea de volum, Ω cm			
	— în condiții normale	STAS 6107—59	$9,5 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{14}$
	— după menținere 7 zile*		$1,1 \cdot 10^{13}$	$3,8 \cdot 10^{13}$
	— după menținere 7 zile în apă		$1,5 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{13}$
	— după menținere 30 zile în apă		$7,5 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{13}$
4	Tangenta unghiului de pierderi dielectrice la 50 Hz			
	— în condiții normale	STAS 2740—60	0,0356	0,00653
	— după menținere 7 zile în apă		0,0865	0,00826
	— după menținere 30 zile în apă		0,150	0,00905
5	Tangenta unghiului de pierderi dielectrice la 1 MHz			
	— în condiții normale	STAS 2740—60	0,00364	0,00338
	— după menținere 7 zile în apă		0,03650	0,00865
6	Constanta dielectrică la 50 Hz	STAS 2740—60	7,37	4,55
7	Constanta dielectrică la 1 MHz	STAS 2740—60	5,50	4,96

* Determinări în camera Weiss la umiditatea relativă de 95 ± 3% și la temperatura de 40°C.

În tabela 3 se prezintă proprietățile mecanice ale sticlotextolitului (grosime 10 mm), în condiții normale, precum și după menținere timp de 65 zile la temperatura de 155° C și în camera Weiss și timp de 434 zile în apă. Menținerea timp îndelungat a epruvetelor de sticlotextolit a avut ca scop constatarea influenței finișului asupra modului de variație a proprietăților în timp mai îndelungat. Din tabela 4 se constată că sticlotextolitul ce conține finiș corespunde N.I.D. 1126—63 „Sticlotextolit E, cu rășini epoxidice". Sticlotextolitul ce conține țesătură de sticlă netratată cu finiș are unele proprietăți corespunzătoare N.I.D. 1126—63 (rezistența la tracțiune, rezistența la încovoiere și rezistența șoc). Rezistența la despicare și rezistența la compresiune sînt inferioare sticlotextolitului ce conține finiș însă corespund N.I.D. 1325—63.

Prin menținerea la umiditate și la temperatura de 155° C a sticlotextolitului cu finiș se constată că proprietățile rămîn practic constante. Toate proprietățile sticlotextolitului care nu conține finiș scad în timpul menținerii la umiditate și la temperatură cu 40—50% din valoarea inițială.

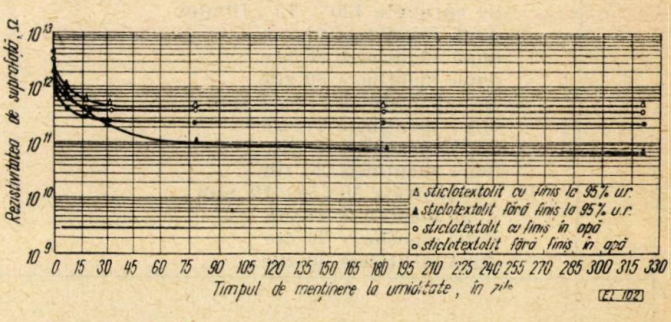


Fig. 2. Variația rezistivității de suprafață a sticlotextolitului cu rășină fenolformaldehidică în funcție de menținerea la umiditate.

Proprietățile mecanice ale sticlotextolitului în condiții normale, la temperatura de 155°C, în timpul menținerii la umiditate *Tabela 3*

Denumirea caracteristicii	Metoda de încercare	NID 1325–63	NID 1126–63	Țesătura de sticlă	
				fără finiș	cu finiș
Rezistența la tracțiune, kgf/cm²	STAS				
— în condiții normale	7144–65	min 1 300	min 2 500	2 500*	2 900*
— după menținerea 65 zile la 155°C		—	—	1 700*	2 900*
— după menținere 65 zile în apă		—	—	1 560*	2 850*
Rezistența la încovoire, kgf/cm²					
— în condiții normale		min 1 300*	min 2 000*	2 000*	4 350*
— după menținere 65 zile la 155°C		—	—	1 036*	4 150*
— după menținere 65 zile în apă	STAS	—	—	1 300*	3 950*
— după menținere 434 zile în apă	5874–58	—	—	1 265*	3 920*
— în condiții normale		—	—	—	4 255**
— după menținere 434 zile în apă		—	—	—	3 885**
Rezistența la șoc, kgf cm/cm²					
— în condiții normale		min 50	min 100	265*	165*
— după menținere 65 zile la 155°C	STAS	—	—	255*	147*
— după menținere 65 zile în apă	5801–58	—	—	260*	165*
— după menținere 434 zile în apă		—	—	130*	130*
— în condiții normale		—	—	255**	155**
— după menținere 434 zile în apă		—	—	—	130**
Rezistența la compresiune, kgf/cm					
— perpendicular pe straturi					
— în condiții normale	STAS	—	min 3000	2600	4 500
— după menținere 65 zile în apă	5873–58	—	—	1 560	4 000
— paralel cu straturile					
— în condiții normale		—	min 1 400	900	1 650
— după menținere 65 zile în apă		—	—	650	1 600
Rezistența la despicare, kgf	STAS 7144–65	min 150	min 400	250	460
Duritatea Brinell, kgf/cm²	STAS 5871–58	min 3 000	—	3 500	4000

* Determinări în direcția urzelii.
** Determinări în direcția bătăturii.

În tabela 4 se prezintă proprietățile electrice ale sticlotextolitului, în condiții normale, după menținere timp de 65 zile la temperatura de 155° C și la camera Weiss și timp de 434 zile la apă (determinări pe placă cu grosimea de 10 mm). Din această tabelă se constată că atît sticlotextolitul ce conține țesătură de sticlă tratată cu finiș cît și acela care nu conține finiș corespund N.I.D. 1126–63 „Sticlotextolit E, cu rășini epoxidice". Rigiditatea dielectrică și rezistența între fișe (rezistența de izolație) sînt inferioare la sticlotextolitul fără finiș față de sticlotextolitul ce conține țesătură tratată cu finiș. În figura 2 se dă variația rezistivității de suprafață în timpul menținerii la umiditate (apă și camera Weiss).

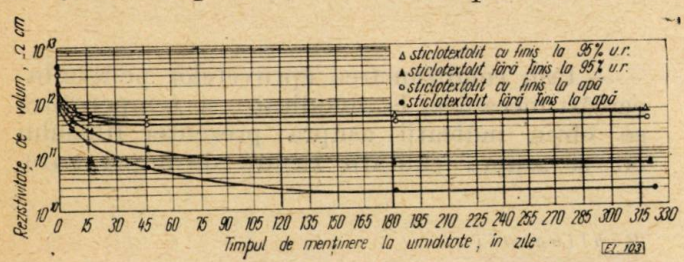


Fig. 3. Variația rezistivității de volum a sticlotextolitului cu rășină fenolformaldehidică în funcție de timpul de menținere la umiditate.

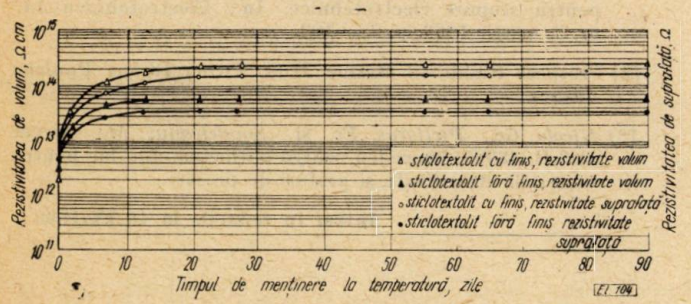


Fig. 4. Variația rezistivității de suprafață și volum a sticlotextolitului cu rășină fenolformaldehidică în funcție de timpul de menținere la temperatură la 155° C.

Variația rezistivității de volum în timpul menținerii la umiditate (apă și camera Weiss) este prezentată în figura 3. În figura 4 este dată variația rezistivității de suprafață și volum în timpul menținerii la temperatură. Prețul de cost al produsului realizat industrial la F.C.M.E. indiferent de tip este cu 40% mai ieftin decît acela făcînd obiectul N.I.D. 1126–63 „Sticlotextolit E, cu rășină epoxidică" și cu 25% decît acela prevăzut în N.I.D. 1325–63 „Sticlotextolit B cu rășină bachelitică".

Tabela 4

Proprietăţile electrice ale sticlotextolitului în condiţii normale, după menţinere la temperatura de 155°C şi la umiditate

Denumirea caracteristicii	Metoda de încercare	NID 1325–63	NID 1126–63	Ţesătura de sticlă	
				fără finiş	cu finiş
Rigiditatea dielectrică, kV/mm					
— în condiţii normale	STAS	—	—	16,7	15,8
— după menţinere 4 zile**	6257–60	—	—	14,8	15,7
— după menţinere 4 zile în apă		—	—	14,3	15,6
Încercarea la tensiune timp de 1 min, kV/3 mm					
— în condiţii normale	STAS	20	24	24,0	24,0
— la temperatura de 1550°C	6257–60	14*	9	9,0	9,0
Tensiunea de străpungere, kV					
— paralel cu straturile	STAS	min 12	—	27,6	37,3
— perpendicular pe straturi	6257–60	—	—	58,5	56,5
Rezistenţa între fişe, Ω					
— în condiţii normale	STAS	—	min 10^{12}	$8 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{13}$
— după menţinere 7 zile**	6107–59	—	min 10^{11}****	$1,5 \cdot 10^{10}$	$3,5 \cdot 10^{11}$
— după menţinere 7 zile în apă		—	—	—	$2,5 \cdot 10^{11}$
Rezistivitatea de suprafaţă, Ω					
— în condiţii normale		min 10^{10}	min 10^{12}	$5,0 \cdot 10^{12}$	$3,1 \cdot 10^{12}$
— după menţinere 7 zile**	STAS	min 10^{8}****	min 10^{10}****	$3,2 \cdot 10^{11}$	$7,1 \cdot 10^{11}$
— după menţinere 65 zile**	6107–59	—	—	$9,4 \cdot 10^{10}$	$6,9 \cdot 10^{11}$
— după menţinere 65 zile la 155°C		—	—	$4,3 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{14}$
— după menţinere 434 zile în apă		—	—	$1,1 \cdot 10^{10}$	$3,8 \cdot 10^{11}$
Rezistivitatea de volum, Ω cm					
— în condiţii normale		min 10^{10}	—	$3,0 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{12}$
— după menţinere 7 zile**	STAS	min 10^{8}***	—	$3,5 \cdot 10^{11}$	$8,6 \cdot 10^{11}$
— după menţinere 65 zile**	6107–59	—	—	$4,4 \cdot 10^{10}$	$2,5 \cdot 10^{11}$
— după menţinere 65 zile la 155°C		—	—	$2,5 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{11}$
— după menţinere 434 zile în apă		—	—	$1,4 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^{11}$
Rezistenţa la curenţi de scurgere		—	—	T1	T1

* Determinări la temperatura de 130° C
** Determinări după menţinerea în camera Weiss la umiditatea relativă de 95 ± 3% şi la temperatura de 40°C
*** Determinări după menţinere 48 ore la umiditatea relativă de 80%
**** Determinări după menţinere 96 ore la umiditatea relativă de 80%

Concluzii

— Sticlotextolitul realizat industrial la F.C.M.E. se recomandă în construcţia aparatelor şi maşinilor electrice care funcţionează în condiţii normale, la umiditate şi la temperatura de 130–155°C.

— Prin tratarea ţesăturilor cu finiş se îmbunătăţesc proprietăţile fizico-mecanice şi electrice în condiţii normale, la temperatură şi umiditate.

— Menţinerea sticlotextolitului ce conţine ţesătură tratată cu finiş, la umiditate şi temperatură timp îndelungat, nu modifică proprietăţile fizico-mecanice şi electrice.

— Tangenta unghiului de pierderi dielectrice la 50 Hz şi rezistenţa la compresiune dau indicaţii asupra prezenţei finişului.

— Prin condiţionarea epruvetelor pentru încercări mecanice, la umiditate şi temperatură se obţin indicaţii asupra prezenţei finişului cît şi asupra calităţii răşinii de impregnare.

Bibliografie

[1] *Nicola, Gr., Pîrligras, Ec.* şi *Şomfeleanu, M.* Noi tipuri de materiale stratificate pe bază de ţesături anorganice pentru scopuri electrotehnice. În: Electrotehnica 14, nr. 3, martie 1966, p. 95–102.

[2] Prospect Rhôdrosil Rèsine 3100. Firma Rhône Poulenc Franţa.

[3] *Nicola, Gr., Pîrligras, Ec.* şi *Şomfeleanu, M.* Brevet R.S.R. 48925. Procedeu pentru obţinerea unui lac pentru materiale stratificate şi prafuri de presare.

Intrat în redacţie la 19.IX.1968

Relee termobimetalice diferențiale

SERGIU GOLDIMBERG* — București

CZ 621.318.531.004:537 321

În mai puțin de 10—12 ani de la apariție, motorul trifazat asincron cu colivie se impune definitiv, înlocuind pretutindeni motorul de curent continuu, folosit pînă atunci.

La o astfel de dezvoltare deficiențele motorului asincron și necesitatea de protecție nu au întîrziat să se arate. Rînd pe rînd s-au găsit soluții mai mult sau mai puțin ingenioase pentru toate dificultățile inerente începutului, afară de problema protecției la căderea unei faze. Apariția releelor termice diferențiale răspunde în primul rînd necesității protecției motoarelor electrice trifazate la pierderea unei faze.

Sistemul diferențial de protecție apare pentru prima dată în jurul anului 1957 în construcția aparatajului produs de firma Schrack, Austria [1], [2]. În decurs de patru ani mecanismul este perfecționat și simplificat reprezentînd sistemul de protecție antibifazică cu gabaritul cel mai redus și cu prețul de cost cel mai mic, adaptîndu-se ușor releelor termice clasice. În scurtă vreme sistemul a fost aplicat de cele mai mari firme constructoare de aparataj electric din Europa. Începînd din anul 1967, la întreprinderea Electroaparataj s-a trecut la pregătirea fabricației unui bloc releu termic cu dispozitiv de protecție diferențială, TSA 30 P și 63 P în 18 variante, avînd curenții de serviciu de la 0,4 A pînă la 63 A. La sfîrșitul acestei lucrări se găsește în anexă o fișă cu date tehnice.

1. Necesitatea apariției releelor diferențiale

Dimensionarea la limită a electromotoarelor, din dorința de scădere a prețului de cost, face ca la orice defect de natură tehnologică sau de exploatare să se producă întreruperi în funcționare. Dintre acestea, arderea motoarelor în cazul căderii unei faze, sînt cele mai frecvente. Protecția clasică, cu relee sau declanșatoare termobimetalice, ar trebui să asigure scoaterea rapidă de sub tensiune a instalației și semnalizarea existenței unei situații anormale. Pentru aceasta se cere, însă, un reglaj atent și o adaptare minuțioasă a releelor, la instalația protejată. Fie că reglajul releelor este incorect fie că aparatajul de protecție este defectuos ales, fie că etalonarea se dereglează cu timpul datorită îmbătrînirii lamelelor bimetalice sau datorită blocării mecanismului de declanșare, fapt este că motoarele continuă să se ardă și protecția termobimetalică se dovedește ineficace (mai cu seamă în cazul lipsei unei faze).

Un alt motiv care a dus la apariția releelor cu amplificare de cursă la rămînerea în două faze (sau faze inegal încărcate) a fost și scăderea apreciabilă a forței și săgeții active, în acest caz. Cercetările efectuate în cadrul Institutului de Cercetări și Proiectări pentru Industria Electrotehnică și în laboratorul întreprinderii Electroaparataj au arătat că forța activă, în cazul releelor termobimetalice clasice exercitată pe tija integratoare, scade cu aproximativ 1/3, săgeata activă scăzînd corespunzător.

In timp ce faza întreruptă încetează de a mai contribui la suma forțelor active, fazele nevătămate continuă să furnizeze forțe aproximativ constante. În chip paradoxal încălzirea rămîne aproximativ constantă deși curentul crește. Constanța temperaturii pe fazele încărcate se explică prin faptul că plusul de căldură provenit din creșterea curentului se cheltuiește pentru acoperirea pierderilor provenite din lipsa unei faze, condițiile de disipare ale releului în ansamblu rămînînd constante.

Pentru ilustrarea celor afirmate mai sus, în tabela 1 au fost trecute rezultatele raportate, ale măsurătorilor de temperatură pe bimetale și în aer la un releu TSA—63. Condițiile încercărilor au fost următoarele :

— curentul nominal 40 A (limita inferioară) și 63 A (limita superioară) ;

— poziția releului verticală.

În tabela 1 s-a notat cu 100% încălzirea în regim trifazat, raportîndu-se la ea încălzirea corespunzătoare (conform STAS 4480) regimului de două faze.

Motoarele bobinate în triunghi rămîn practict fără protecție în cazul lipsei unei faze oricît de bine s-ar regla și adapta releele clasice termobimetalice. În figura 1 s-au reprodus după [3] caracteristicile de funcționare a două motoare (de 8 și 15 kW) cu bobinajul în triunghi. În ordonată sînt trecuți curenții absorbiți (pe linie și pe faze) în regim trifazat și bifazat, iar în abscisă cuplul de încărcare.

Din figura 1 se deduce că în cazul pierderii unei faze se produc următoarele :

— curenții pe liniile nevătămate (în serie cu releele) cresc în raport cu cuplul de încărcare ;

— curenții pe fazele B și C rămîn aproximativ neschimbați ;

— curentul prin faza A crește într-un raport mult mai mare decît curenții de pe linie, ceea ce poate duce la arderea acesteia.

În figura 2 s-au reprezentat caracteristicile creșterii curentului în faza A, funcție de creșterea curentului pe liniile sănătoase (R și T) la

* Ing. *S. Goldimberg* este șeful laboratorului de protecții și aparataj de instalații din cadrul Institutului de cercetări și proiectări pentru industria electrotehnică — București.

Tabela 1

Compararea încălzirii unui bloc releu termic TSA 63 A pe cite 2 şi 3 faze. Încărcare trifazată, 1, 2 I_n; încărcare bifazată 1, 3 I_n. S-a notat încălzirea pe trei faze cu 100, încălzirea bifazată raportîndu-se la cea trifazată. Poziţia cutiei a fost verticală, cu lamelele bimetalice în plan vertical

Valoarea curentului	Fazele încălzite	Bimetalul pe care s-a măsurat *			Spaţiul în care s-a măsurat temperatura **			
		R	*S*	*T*	*R*	*S*	*T*	Mecanism
				I_n = 63 A				
1,2 I_n	*R*–*S*–*T*	100	100	100	100	100	100	100
1,3 I_n	*R*–*S*	105	96,5	—	108,2	94,7	48,2	62
	S–*T*	—	96,5	104,5	62,5	99	112	105
	R–*T*	91,7	—	96	95	62,7	85,5	98,8
				I_n = 40 A				
1,2 I_n	*R*–*S*–*T*	100	100	100	100	100	100	100
1,3 I_n	*R*–*S*	106	98,5	—	103	95,2	65	78
	S–*T*	—	100	109	77	98,7	110	112
	R–*T*	106	—	108	98,5	77,4	90	101

* Temperatura a fost măsurată la mijlocul bimetalului.
** Temperatura a fost măsurată la mijlocul cutiei, în compartimentele fazelor *RST*.

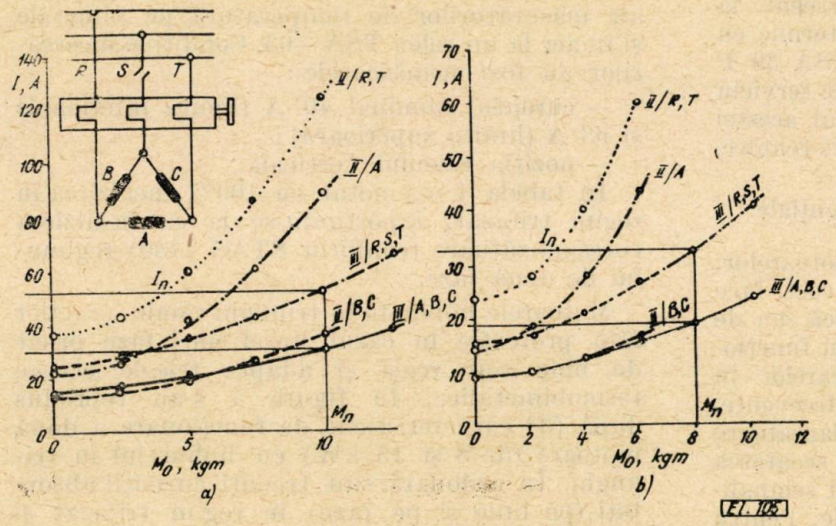


Fig. 1. Curentul pe linie şi în înfăşurările motorului în regim trifazic şi în cazul căderii unei faze funcţie de cuplul de încărcare :

a – motor de 15 kW ; *b* – motor de 8 kW : *III ABC* – regim trifazat (înfăşurările *ABC*) ; *II BC* – regim bifazat (înfăşurările *BC*), lipseşte faza *S* ; *II/A* – regim bifazat (înfăşurarea *A*), lipseşte faza *S* ; *III/RST* – regim trifazat (fazele *RST*) ; *II/RT* – regim bifazat (fazele *R* şi *T*), lipseşte faza *S*.

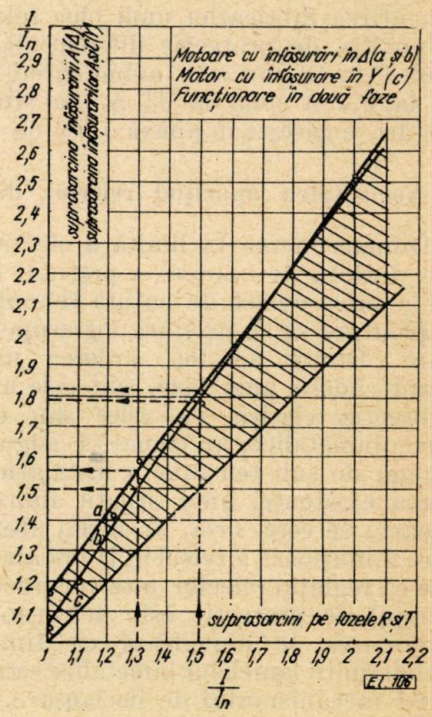


Fig. 2. Caracteristicile de creştere ale curentului în înfăşurarea *A* funcţie de creşterea curentului pe fazele sănătoase (*R* şi *T*) în cazul întreruperii fazei *S* : →

a – motor de 8 kW ; *b* – motor de 15 kW ; *c* – motor cu înfăşurare în stea.

motoarele de 8 şi 15 kW menţionate. Din exemplele date în figură, se ilustrează în mod sugestiv faptul că deşi releul a fost bine reglat şi adaptat corect, faza *A* este neprotejată. În timp ce, de exemplu, suprasarcina sesizată de releu, este de 30%, în înfăşurarea *A* a motorului, suprasarcina ajunge la 50–60 %, iar cînd fazele *R* şi *T* ale releului sînt parcurse de o supra-

sarcină de 50%, faza A a motorului este parcursă de o suprasarcină de peste 80%. Partea haşurată ilustrează supraîncărcarea înfăşurării fazei A faţă de fazele de alimentare R şi T în cazul pierderii unei faze (S) pentru motoare bobinate în triunghi.

În lucrarea [3] se afirmă că domeniul lipsei de protecţie s-ar întinde de la 1,05 I_{nA} (I_{nA} = = curentul nominal al fazei A) pînă la curentul corespunzător cu 1,3 I_{nRST} (I_{nRST} = curentul nominal de linie) de la care începe să funcţioneze protecţia în cazul rămînerii în două faze. Această concluzie este valabilă dacă nu se ia în considerare şi timpul de acţionare al releelor. În realitate caracteristica necesară de protecţie a fazei A conform datelor din figura 2, rămîne la toate valorile de suprasarcină sub nivelul caracteristicii de declanşare a releului. În figura 3 s-au trasat conform datelor din figu-

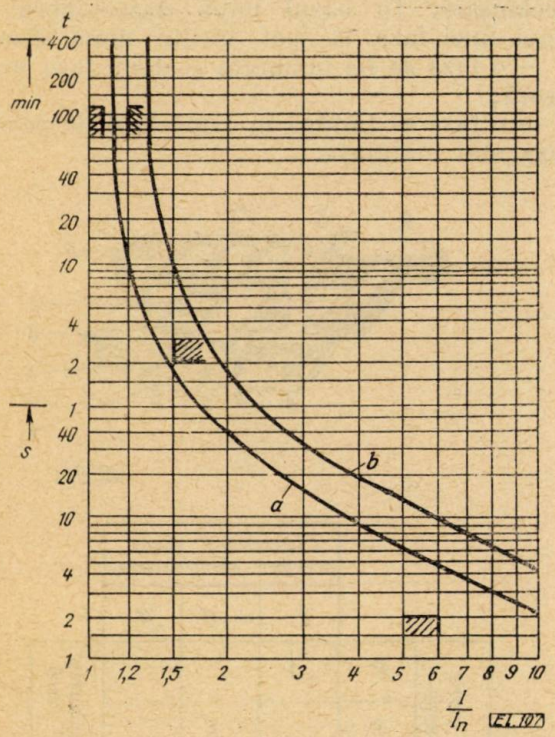


Fig. 3. Comparaţie între caracteristica necesară pentru protecţia înfăşurării A şi caracteristica reală de declanşare a releelor, construită conform datelor din figurile 1 şi 2, în cazul întreruperii fazei S:

a — caracteristica necesară; b — caracteristica reală de declanşare.

rile 1 şi 2 aceste două caracteristici de unde se observă clar că înfăşurarea A nu este protejată. în cazul întreruperii fazei S.

În afară de motivele arătate, apariţia releelor diferenţiale s-a impus şi datorită unor cauze mai puţin grave, dar mult mai frecvente.

Între cele trei bimetale care apasă pe tija integratoare se pot produce diferenţe de cursă, provocate de :

— factori tehnologici
  a) înfăşurările de încălzire pot fi inegale;
  b) reglaj de fabrică incorect;
— factori depinzînd de exploatare
  a) fazele circuitului inegal încărcate;
  b) întreţinerea defectuoasă;
— din cauza îmbătrînirii lamelelor bimetalice.

Toate acestea au dus la găsirea unor mecanisme care să amplifice săgeata şi forţa în cazul unor curse inegale ale bimetalelor.

2. Descrierea unor forme constructive

Aşadar principalul dezavantaj al releelor şi declanşatoarelor termice clasice constă în aceea că la cea mai mică diferenţă de cursă şi mai cu seamă la pierderea unei faze se produc reduceri însemnate de săgeată şi forţă activă, fapt care poate compromite eficienţa protecţiei la suprasarcină. S-a pus problema dacă nu se poate folosi în mod pozitiv acest neajuns, în sensul măririi sensibilităţii protecţiei. Soluţiile adoptate răspund tocmai acestei necesităţi mai ales că sînt foarte simple, uşor de adaptat la releele clasice, asimilabile relativ uşor în producţia de serie şi prin urmare necostisitoare. Modificările menţionate au fost operate asupra tijei integratoare, acea plăcuţă din material izolant (de obicei pertinax sau textolit) pe care se exercită forţa lamelelor bimetalice şi care apasă asupra mecanismului de declanşare producînd întreruperea circuitului de alimentare în caz de defect. După direcţia mişcării tijelor declanşatoare în caz de defect, se cunosc trei tipuri de relee diferenţiale :

— tipul longitudinal folosit în construcţiile firmelor E. Schrack (Austria), Stotz Kontakt (R.F. a Germaniei), Electroaparataj (România);

— tipul transversal în construcţia firmei Télémecanique Electrique (Franţa);

— tipul diagonal în construcţia firmei Schiele (R.F. a Germaniei).

Firma Stotz-Kontakt produce releele diferenţiale TSA—30 P şi TSA—63 P a căror tijă integratoare are forma din figura 4.

În cazul unei suprasarcini trifazice simetrice (fig. 4, a), lamelele bimetalice împing întregul ansamblu, tija integratoare lucrînd ca în cazul unui releu termic clasic. Cînd proeminenţa T a efectuat săgeata activă necesară, mecanismul de deschidere este pus în mişcare producînd declanşarea. În schiţa b s-a reprezentat tija integratoare în cazul în care există suprasarcină numai pe fazele R şi T (întreruperea fazei S). În acest caz plăcuţa superioară B revine în poziţia iniţială (în mers cu două faze) sau este obligată să stea pe loc (pornire în două faze) fiind reţinută de bimetalul fazei S. Deplasarea plăcuţei inferioare A se produce acum prin intermediul furcilor C de pe fazele R şi T. Furcile metalice lucrînd ca nişte pîrghii de gradul II, vor împinge plăcuţa inferioară A în raport cu mărimea braţelor de pîrghii. Spre a se înţelege mai uşor funcţionarea, în figura 5 au fost fotografiate separat plăcuţele

de pertinax superioară B, inferioară A şi furca metalică C.

Este evident că vîrful de atac T va parcurge mai repede distanţa pînă la mecanismul de

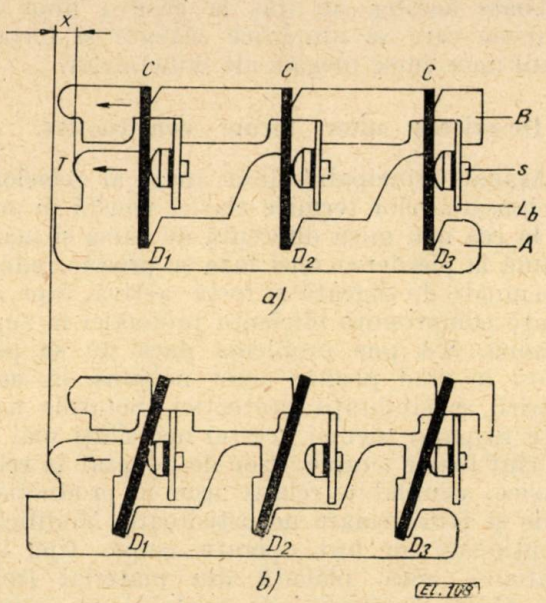


Fig. 4. Tijele integratoare de la blocul de relee termice TSA 30 P şi 63 P:

a – funcţionare în cazul unei suprasarcini trifazate simetrice; *b* – funcţionare în cazul pierderii fazei S; A – placă de pertinax inferioară; B – placă de pertinax superioară; C – furcă metalică specială; Lb – lamelă bimetalică; S – şurub de reglaj; T – proeminenţă care apasă pe mecanismul de declanşare; X – sporul de săgeată în cazul funcţionării în două faze.

declanşare, accelerînd scoaterea de sub tensiune a instalaţiei.

Firma Télémecanique Électrique posedă în profilul producţiei sale blocuri de relee termice compensate şi diferenţiale de la 0,12 A

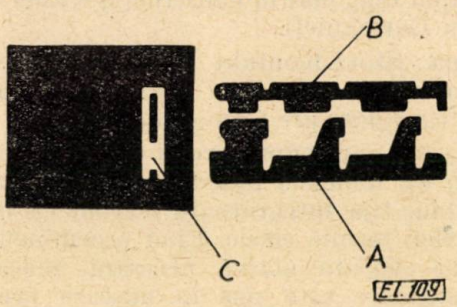


Fig. 5. Elementele componente ale tijei integratoare:

A şi B – plăcuţe de pertinax; C – furcă metalică.

la 16 A. Elementul diferenţial este furnizat tot de tija declanşatoare, construit pe cît de simplu pe atît de ingenios. Tija integratoare de transmitere a mişcării de la bimetal la dispozitivul de declanşare se compune din două leviere de pertinax (fig. 6) foarte subţiri (0,3—0,4 mm) pivotînd în jurul axelor, prinse de vîrful bimetalelor. Levierele au cîte două vîrfuri de atac cu care pot roti cadrul mobil ce produce declanşarea. În caz de suprasarcină echilibrată, extremităţile celor trei bimetale se deplasează în sensul declanşării, rămînînd aliniate. Dispozitivul diferenţial execută o mişcare de translaţie deplasînd simultan ambele leviere

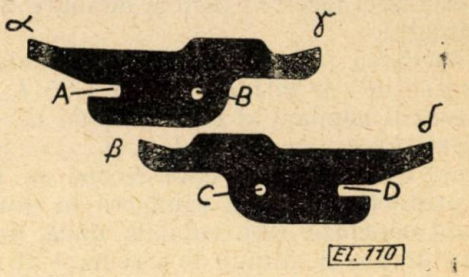


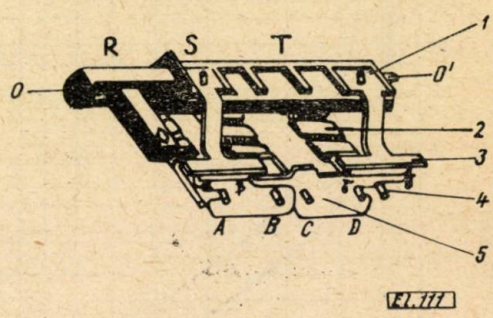
Fig. 6. Levierele de pertinax ale tijei declanşatoare fotografiate separat:

α, β, γ, δ – vîrfuri pe atac; A, B, C, D – puncte de oscilaţie.

spre cadrul mobil transmiţînd comanda de declanşare. În cazul unui dezechilibru sau lipsa unei faze se pot întîlni două situaţii:

— o fază să fie înaintată şi două faze mai în urmă;

— o fază să rămînă în urmă faţă de celelalte faze mai înaintate.



Faza care lipseşte		Elementul care produce declanşarea: γ	α, δ	β	Suprasarcină pe 2 faze
	R	⌟			
	S		⌟		
	T			⌟	
		δ	β, δ	α	

Fazele care lipsesc					Suprasarcină pe o fază
	R, S	⌟			
	R, T		⌟		
	S, T			⌟	

Fig. 7. Bloc de relee termice cu sistem diferenţial de transmitere a comenzii de declanşare tip Télémecanique Électrique:

00' – axul cadrului mobil; *1* – cadrul mobil; *2* – lamelă bimetalică cu încălzire indirectă; *3* – paletă; *4* – pivoţii levierelor; *5* – leviere de pertinax; α, β, γ, δ – vîrfurile de declanşare ale levierelor; A, B, C, D – punctele de rotaţie ale levierelor.

Diferențele de aliniament provoacă rotirea celor două leviere ale dispozitivului diferențial împingînd cu cel puțin unul din vîrfuri paletele cadrului de declanșare. În figura 7 se dă o tabelă care arată vîrful care produce declanșarea, funcție de faza sau fazele care lipsesc, alături de figura unei părți a releului termic Télémecanique Électrique. Se pot observa forma specială a celor două tije integratoare montate

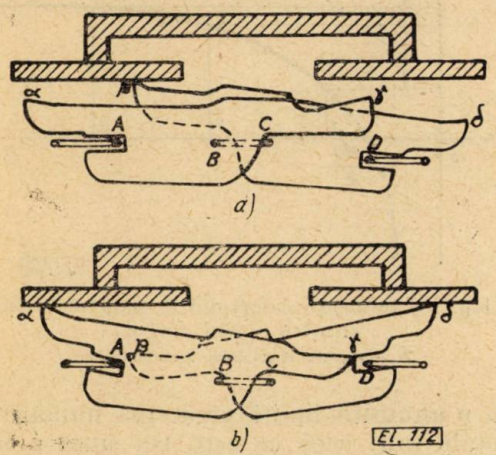


Fig. 8. Pozițiile caracteristice ale levierelor releelor Télémecanique Électrique în momentul declanșării, în cazul lipsei unei faze:
a – lipsește faza *T*; *b* – lipsește faza *S*.

în vîrful lamelelor bimetalice precum și poziția relativă a tijelor față de cadrul de declanșare.

Spre exemplificare în figura 8 au fost prezentate pozițiile caracteristice ale levierelor, în cazul lipsei fazei *T* (fig. 8, *a*) sau fazei *S* (fig. 8, *b*).

Din figura alăturată se intuiește fără greutate modul cum se realizează amplificarea de mișcare în cazul apariției diferențelor de cursă. Dacă lipsește faza *T* pivotul *D* rămîne în urma pivoților *A* și *C*. Acesta face ca levierul din dreapta să se rotească în jurul punctului *D* atacînd cu vîrful β paleta declanșatoare. Dacă faza *S* rămîne rece ambele leviere atacă cu vîrfurile α și δ paleta declanșatoare pivotînd, levierul din stînga în jurul punctului *C*, iar levierul din dreapta, în jurul punctului *B*.

O construcție interesantă de releu diferențial este prezentată de firma Schiele (R. F. a Germaniei). Și în acest caz se folosesc două tije izolante acționate prin intermediul unor proeminențe de către lamelele bimetalice (fig. 9).

În figura 9, *a* se arată poziția principalelor elemente ale releului diferențial în stare de repaus. Cele două tije *3* și *5* stau cu nasurile lipite de lamelele bimetalice. În figura 9, *b* se prezintă releul cu toate fazele parcurse de curentul nominal. Prin încovoierea lamelelor bimetalice sînt acționate simultan ambele tije *3* și *5*, pînă ce lamela compensatoare *2* atinge fără a tensiona șurubul de reglaj *4*. Contactul *6* rămîne închis. Dacă din anumite motive o fază se întrerupe (fig. 9, *c*) prin răcirea lamelei bimetalice respective tija de dedesubt *5* este reținută. În acest caz tija *3* urcă pe știftul *7* deplasîndu-se în diagonală și realizînd deschiderea contactului *6*. Cînd se semnalează o suprasarcină echilibrată, pe toate fazele (fig. 9, *d*) declanșarea se produce în același mod ca mai sus, numai că reținerea tijei *5* se face de astă dată prin intermediul lamelei compensatoare *2*, de către șurubul de reglaj *4*. Principalul deza-

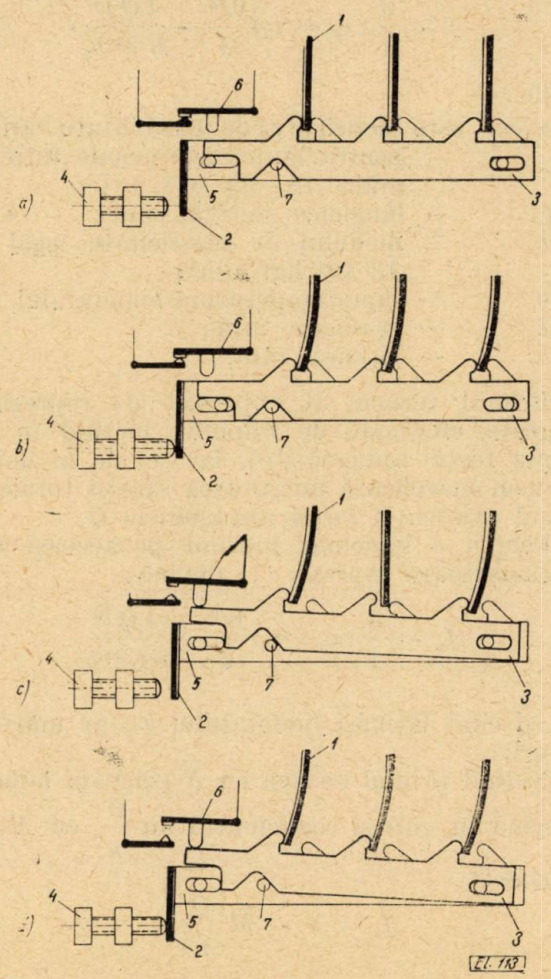


Fig. 9. Schița releului diferențial tip Schiele:
a – releul în poziție de repaus; *b* – releul funcționînd la curentul normal; *c* – releul funcționînd în cazul căderii unei faze (*S*); *d* – releul funcționînd în cazul unei suprasarcini echilibrate simetrice.

vantaj al acestei acționări diferențiale constă în faptul că o parte din forța activă se consumă în frecări inutile și pentru compensarea componentei transversale a forței rezistente furnizată de știftul *7*.

3. Considerații asupra calculului elementelor mecanice ale dispozitivului diferențial

În continuare se cercetează un releu termic clasic în cazul întreruperii unei faze; care sînt pierderile de săgeată activă și cum trebuie dimensionate elementele mecanice ale tijei in-

tegratoare a releelor diferențiale spre a se compensa reducerile de săgeată.

Se va începe prin analiza influenței numărului n de lamele bimetalice a căror forță și săgeată se însumează pe tija integratoare, asupra rezultantei forțelor și săgeților active.

Dacă f este săgeata activă la capătul lamelei bimetalice și Q este forța antagonistă, relația de legătură potrivit lucrării [6], este:

$$f = \frac{3}{4}(\alpha_2 - \alpha_1)\frac{\theta l^2}{\delta} - \frac{4 Q l^3}{E \delta^3 b_1}, \qquad (1)$$

unde:

$\alpha_2 - \alpha_1$ este coeficientul de sensibilitate variind pentru bimetalele uzuale între limitele $18-23 \cdot 10^{-6}$, 1/°C;
l — lungimea activă, mm;
E — modulul de elasticitate, egal cu $13 \cdot 10^3$ kgf/mm²;
θ — supratemperatura bimetalului, °C;
δ — grosimea, mm;
b_1 — lățimea, mm.

Primul termen al expresiei (1) reprezintă săgeata efectuată de bimetal, lucrînd în gol (lipsa forței antagoniste), iar cel de al doilea termen marchează micșorarea săgeții totale în cazul existenței forței antagoniste Q.

Pentru n bimetale, lucrînd pe aceeași tijă declanșatoare expresia (1) devine:

$$f_n = \frac{3}{4}(\alpha_2 - \alpha_1)\frac{\theta l^2}{\delta} - \frac{4 Q l^3}{n E \delta^3 b}, \qquad (2)$$

ca și cînd lățimea bimetalului b s-ar mări de n ori.

Notînd primul termen cu N (săgeata lamelei lucrînd în gol) și coeficientul lui $\frac{Q}{n}$ cu M, se obține:

$$f_n = N - M\frac{Q}{n}. \qquad (2')$$

Expresia (2') ne arată trei aspecte foarte importante:

a) săgeata tijei declanșatoare, în gol ($Q = 0$) nu depinde de numărul bimetalelor;

b) capacitatea de încărcare crește proporțional cu numărul lamelelor bimetalice lucrînd pe aceeași tijă integratoare;

c) o dată cu creșterea numărului de bimetale săgeata se mărește tinzînd asimptotic către valoarea N (săgeata efectuată de lamelele bimetalice în gol). Aceasta s-a reprezentat în figura 10. Domeniul corespunzător lui $n < 1$, neavînd semnificație fizică a fost trasat punctat.

Deoarece săgeata este în general pozitivă, rezultă că $N > MQ$ și deci $\frac{MQ}{N} < 1$. (Săgeata poate fi și negativă dacă forța antagonistă crește excesiv de mult. Dar acesta nu este un caz obișnuit). Din figura 10 se observă cum creșterea numărului de bimetale aduce o contribuție din ce în ce mai mică la creșterea săgeții active, ajungîndu-se la un fel de saturație. Prin urmare

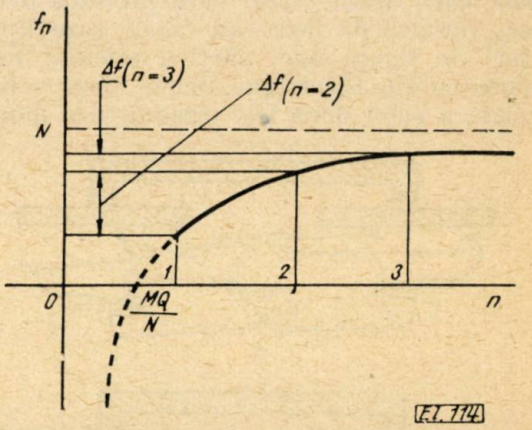


Fig. 10. Influența numărului de bimetale asupra creșterii săgeții active:
N – săgeata bimetalului lucrînd în gol.

de la o anumită limită creșterea numărului de bimetale sau, ceea ce este tot una, a lățimii b, devine nerentabilă. În schimb, cu creșterea numărului de bimetale lucrînd pe aceeași tijă, crește posibilitatea de încărcare (forță rezistentă) pentru aceeași săgeată activă.

În figura 11 a fost reprezentată dependența săgeții active, de forță rezistentă aplicată, pentru un număr variabil de bimetale.

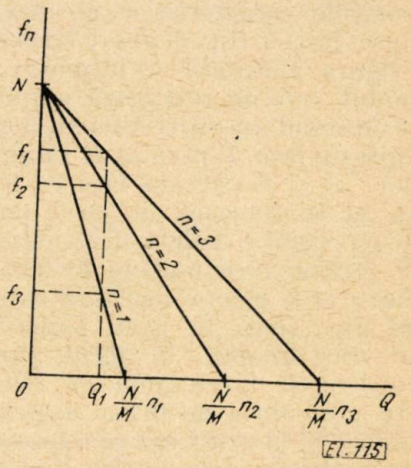


Fig. 11. Caracteristicile forță rezistentă-săgeată pentru un număr variabil de bimetale:
Q_1 – o forță rezistentă oarecare constantă; f_1, f_2, f_3 – săgețile cauzate de tije declanșatoare acționate de 3, 2 respectiv 1 bimetale.

Se observă că la o forță rezistentă constantă Q_1 reducerea săgeții pe lamelă este cu atît mai mică cu cît numărul de bimetale este mai mare.

În continuare se calculează reducerea săgeții Δf_n în cazul întreruperii unei faze spre a se

stabili cît anume se cere sistemului diferențial în vederea compensării pierderilor suferite de releu :

$$\Delta f_n = f_n - f_{n-1}. \tag{3}$$

Înlocuind valoarea săgeții active din expresia (2′) pentru cazul a n și a $n-1$ faze, se obține :

$$\Delta f_n = \frac{MQ}{n(n-1)}. \tag{4}$$

O primă concluzie ce se desprinde din analiza funcției (4) este aceea că reducerea săgeții active în cazul căderii unei faze nu depinde de valoarea săgeții în gol N.

Pentru $n = 3$ (sistem trifazat) :

$$f_3 = \frac{MQ}{6}. \tag{5}$$

Pentru un releu dat, M este o constantă. Prin urmare pierderea de săgeată crește proporțional cu a șasea parte a forței antagoniste. Se dovedește deci că sînt avantajoase releele și declanșatoarele cu mecanisme ale căror forțe antagoniste sînt relativ mici.

Problema calculului elementelor mecanice se rezumă la determinarea raportului $\frac{g}{m}$ în așa fel încît punctul d (fig. 12) să producă declan-

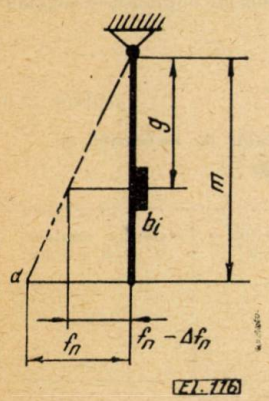


Fig. 12. Determinarea raportului g/m în cazul acționării cu o fază lipsă :
b_i – bimetal ; d – deplasarea efectuată de capătul tijei declanșatoare.

șarea (să realizeze săgeata efectivă) cînd lipsește o fază.

În acest caz se poate scrie :

$$\frac{g}{m} = \frac{f_n - \Delta f_n}{f_n} = \frac{f_{n-1}}{f_n}. \tag{6}$$

Introducînd expresia (2′) se obține :

$$\frac{g}{m} = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{(n-1)N - MQ}{nN - MQ}, \tag{7}$$

sau în cazul unui sistem trifazat :

$$\frac{g}{m} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2N - MQ}{3N - MQ}. \tag{8}$$

Alegînd constructiv una dintre dimensiuni, se determină cealaltă. În cazul releelor diferențiale cu amplificare de cursă, se poate pune întrebarea dacă în cazul rămînerii în două faze forța aplicată mecanismului nu scade (cuplul rămînînd constant) datorită creșterii brațului

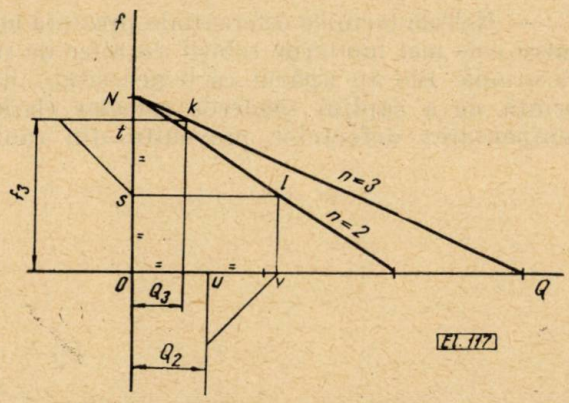


Fig. 13. Funcționarea unui releu diferențial în momentul trecerii de pe o caracteristică trifazată pe una bifazată. Raportul de amplificare al mișcării $\frac{g}{m} = \frac{1}{2}$:
f_3, Q_3, Q_2 – săgeata și capacitățile de încărcare reduse la mecanism, după trecerea prin sistemul diferențial

de pîrghie. Evident forța scade invers proporțional cu creșterea brațului de pîrghie. Nu trebuie să se uite însă că, în cazul acționării diferențiale pentru o aceeași săgeată de declanșare f_3 se cere o săgeată activă a lamelelor bimetalice mult mai mică. Aceasta face ca forța activă furnizată de bimetal să fie suficientă, așa încît să acopere și reducerea forței provenită din creșterea brațului de pîrghie. În figura 13 s-a reprezentat funcționarea unui releu diferențial la trecerea de pe o caracteristică trifazată la una bifazată. S-a presupus $\frac{g}{m} = \frac{1}{2}$. Deși după trecerea prin sistemul diferențial, capacitatea de încărcare Q_2 scade la jumătate, rămîne totuși superioară forței Q_3 pentru realizarea unei aceeași săgeți active f_3, fapt care face ca declanșarea să se producă într-un timp mai scurt (fig. 13). În regim trifazat, în cazul unei sarcini echilibrate, funcționarea are loc în punctul k, sistemul diferențial nefuncționînd, și realizîndu-se săgeata f_3 la forța rezistentă Q_3. Dacă se întrerupe o fază, punctul de funcționare se mută pe caracteristica $n = 2$ în punctul l, astfel determinat încît după trecerea prin sistemul diferențial să se realizeze tot săgeata f_3. Factorul de amplificare fiind 2, săgeata realizată de bimetale va fi egală cu jumătatea săgeții realizată după trecerea prin mecanismul diferențial. Deci punctul s se va afla la jumătatea segmentului Ot. În acest caz capacitatea de încărcare capabilă a fi realizată de cele două bimetale va avea mărimea Ov, înjumătățindu-se după trecerea prin sistemul diferențial. Deci capacitatea de încărcare Q_2, la mecanism, deși

egală cu jumătatea capacităţii de încărcare furnizată de bimetale, va fi totuşi mai mare ca forţa rezistentă Q_3.

4. Concluzii

— Releele termice diferenţiale prezintă una dintre cele mai moderne soluţii de relee de suprasarcină. Ele au apărut ca o necesitate, din dorinţa de a suplini scăderile releelor clasice (compensarea defectelor provenite din cauze tehnologice sau de exploatare, accidente, şi mai cu seamă datorită rămînerii în două faze şi lipsei de protecţie în cazul unui motor cu înfăşurare în triunghi).

— Formele constructive ale releelor termice diferenţiale sînt relativ simple şi necostisitoare avînd modificate, faţă de releele clasice, numai tijele integratoare.

— Din analiza structurală a formulei săgeţii active se trag cîteva concluzii interesante verificate de practică (consemnate în paragraful 3 pct. a, b, c).

ANEXĂ

Fişă cu date tehnice ale blocurilor de relee termice TSA 30—63 P de fabricaţie Electroaparataj

— Posibilităţi de armare: automată şi manuală

— Condiţii climatice:
temperatura ambiantă −20°C ... +50°C;
umiditate relativă a aerului 65% ± 3% la 20°C.

— caracteristici tehnice:
tensiune nominală, 660 V/500 V;
curentul nominal, 32 A pentru TSA 30 P şi 63 A; pentru TSA 63 P;

curenţii de serviciu sînt prezentaţi în tabela 1A;

Tabela 1 A

Tipuri şi curenţi de serviciu

Tipul releului termic	Curentul de serviciu A	Tipul releului termic	Curentul de serviciu A
TSA 30 P	0,40	TSA 30P	6
	0,55		8
	0,75		11
	1,00		15
	1,30		20
	1,80		25
	2,40		32
	3,30	TSA 63 P	40
	4,50		63

numărul de poli, tripolar;
frecvenţa de conectare, 15 con/oră;
poziţia de montare, orizontal sau vertical (în afară de poziţia verticală cu compensatorul în sus);
contacte auxiliare, 1ND şi 1NI;
dimensiuni de gabarit, TSA 30 P—83 × 68,5 × 54, TSA 63 P — 100 × 96 × 64,5;
puterea de rupere a contactelor de comandă şi semnalizare se dă în tabela 2A.

Tabela 2 A

Puterea de rupere a contactelor de comandă şi semnalizare

Tensiunea de comandă V	Curentul atelrnativ, A cos φ = 0,3	Curentul continuu, A, L/R = 5 ms
220	3	1,5
380	2	—
500	1	—

Releul este prevăzut cu dispozitiv de amplificare a mişcării la diferenţă de cursă între bimetale, un mecanism cu contacte săritoare pentru darea comenzilor şi lamelă compensatoare (compensarea diferenţelor de temperatură ale mediului ambiant).

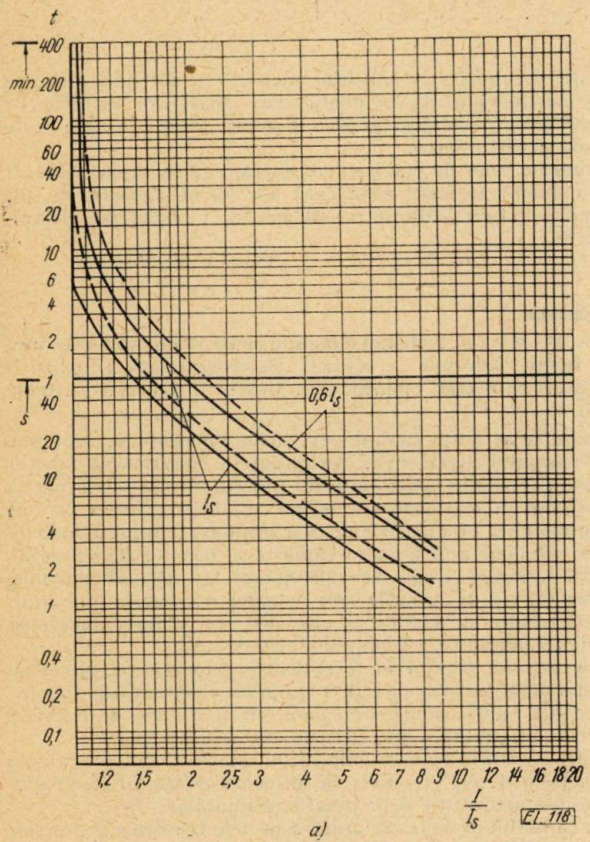
În figura 1A sînt date caracteristicile de declanşare, pornind din stare rece, în cazul întreruperii unei faze.

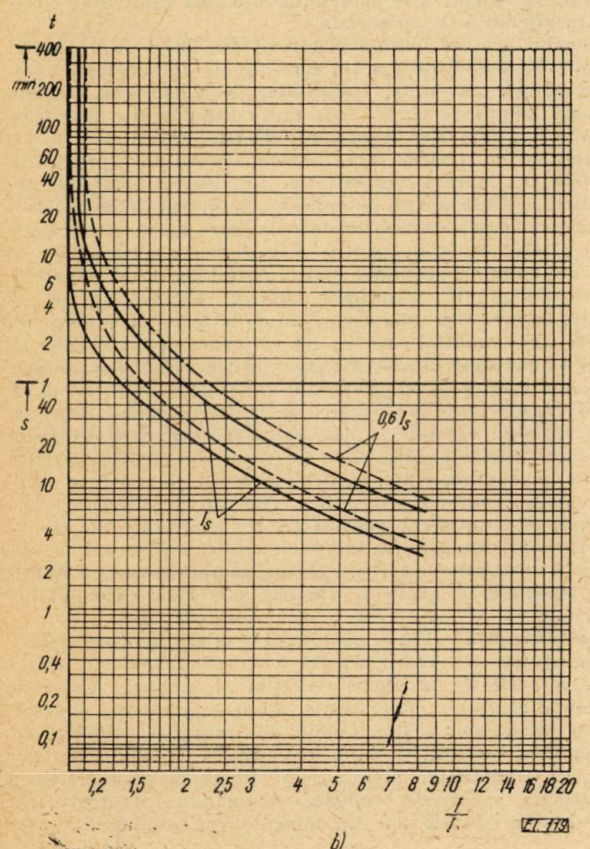
— La dispoziţia beneficiarului stau următoarele posibilităţi de reglaj şi manevră:

un disc excentric care se poate roti cu o şurubelniţă, pentru fixarea curentului de serviciu;

un şurub care se poate fixa într-o gaură ovală: într-o parte se obţine o funcţionare cu rearmare manuală, iar în partea opusă, o funcţionare cu autorearmare;

un buton pentru cazul rearmării manuale.





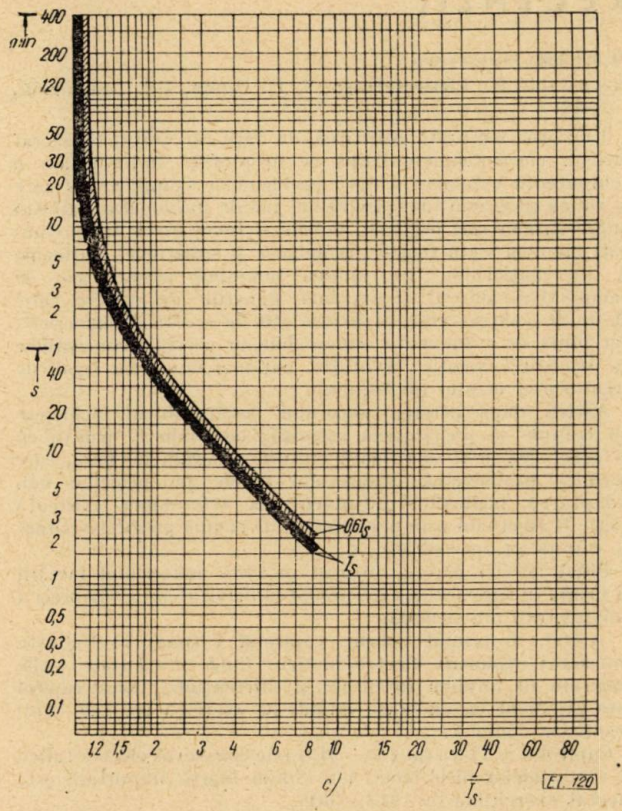


Fig. 1 A. Lățimile de dispersie ale caracteristicilor de declanșare din stare rece (20 ± 5°C) la defectarea unui pol: *a* – TSA 30 *P* cu I_s = 0,4 – 11 *A*; *b* – TSA 30 *P* cu I_s = 15 – 32 *A*; *c* – TSA 63 cu I_s = 40 – 63 *A*

Bibliografie

[1] *Schrack, A.G.* Motorschutzschalter mit Phasenausfallschutz. În: Prospect și lista S–5, martie, 1959.

[2] *Schrack, A.G.* Motorschutzschalter mit Phasenausschutz. În: Elektro Technik **40**, nr. 1, 1958, p. 8–9.

[3] *Lechman, K.H.* și *Steinbach, F.K.* Der Phasenausfallschutz ein Randproblem des Motorschutzen. În: BBC Nachrichten **45**, H. 6, 1963, p. 334–340.

[4] *Lehman, K.H.* Aufbau und Wirkungsweise eines neuen thermischen Überstromrelais. În: BBC Nachrichten **47**. H. 5, 1965, p. 257–260.

[5] *Huhulescu, M.* Eficacitatea protecției prin relee bimetalice. În: Electrotehnica **9**, nr. 7, 1961, p. 236–244.

[6] *Cosmin, G.* și *Tomoiagă, R.* Contribuții la calculul releelor termice pentru protecția motoarelor. În: Electrotehnica **8**, nr. 7, 1960, p. 233–243.

[7] * * * Brevet R.F. a Germaniei 1056714.

Intrat în redacție la 7.IV.1968

RECENZII

CZ 621.3(05) Elettrotecnica

A s t u n i, E. **Elettrotecnica**, I, II. Roma, Ed. Tumminelli, 1968.

Lucrarea recenzată constituie de fapt un tratat consacrat bazelor electrotehnicii. După ce în prefață autorul face o competentă expunere asupra problemelor complexe pe care le ridică progresul învățămîntului tehnic universitar datorită numeroaselor sale legături, directe și inverse, cu toate compartimentele vieții sociale, economice și spirituale, naționale și internaționale, în lumina sarcinilor actuale sau de perspectivă, autorul își exprimă punctul de vedere, atît de mult controversat în istoria atît de scurtă a ingineriei*, dar plină de evenimente remarcabile, în privința concepțiilor de tradiție, evoluție, revoluție, național sau local legate de organizarea acestui învățămînt.

Astfel, după părerea autorului, învățămîntul inginerese nu trebuie să pregătească așa-zișii „specialiști" pentru că în acest caz ar fi sacrificată cultura generală de bază, care permite promovarea progresului tehnic pe principii noi. Adaptarea inginerilor absolvenți la tehnologia existentă poate fi efectuată prin organizarea de cicluri postuniversitare pe ramuri de specialitate.

Fidel acestei păreri, autorul prezintă materialul lucrării în forma în care acesta este predat la facultatea de inginerie a universității din Genova.

Astfel, în primul volum, capitolul I (pag. 1—159) este consacrat expunerii electrocineticii, fiind prezentate legile generale în formula integrală și diferențială. Acest capitol este prevăzut cu un mare număr de exerciții (p. 159—233) rezolvate complet.

Capitolul al II-lea (p. 233—313) este consacrat electrostaticii și materialelor dielectrice. Un volum foarte important este afectat exercițiilor (p. 313—381).

Capitolul al III-lea este subdivizat în: 1) — cîmpul magnetic (p. 381—457); 2) — inducția electromagnetică (p. 457—481); 3) — feromagnetismul (p. 481—509). Paginile 509—588 cuprind exercițiile referitoare la acest capitol.

Volumul al II-lea (p. 595—1 077) conține capitolul al IV-lea subdivizat în opt părți:

Părțile I—III (p. 595—779) sînt destinate circuitelor de curent alternativ (I — sisteme sinusoidale monofazate, II — sisteme sinusoidale polifazate, IIB — sisteme nesinusoidale).

Avînd o bogată activitate de cercetare în acest domeniu, autorul dovedește o reușită remarcabilă în tratarea problemelor. În acest sens trebuie evidențiată expunerea transformării liniare aplicate în teoria circuitelor polifazate;

— partea a IV-a (p. 779—789) tratează efectul Kelvin (pelicular);

— partea a V-a (p. 789—815) este consacrată expunerii problemelor liniilor lungi;

— partea a VI-a (p. 815—853) este intitulată „unde electromagnetice". Sînt expuse ecuațiile lui Maxwell, precum și ecuațiile undelor electromagnetice în medii dielectrice perfecte și medii conductoare;

— partea a VII-a (p. 853—871) este destinată examinării fenomenelor tranzitorii în circuitele electrice;

— partea a VIII-a (p. 871—913) este consacrată examinării conversiunii altor forme de energie în energie electrică: acumulatoare electrice, generatoare termoelectrice, pile solare, pile cu combustibil, generatoare magnetodinamice.

Un mare volum de pagini este destinat exercițiilor la acest capitol (p. 913—1 077).

În concluzie se poate afirma că lucrarea recenzată reprezintă o contribuție valoroasă în literatura tehnică mondială, atît din punctul de vedere al concepției generale de organizare a materialului expus, cît și din punctul de vedere al metodelor de tratare ale problemelor abordate. Rigurozitatea științifică, dublată de un aparat matematic adecvat, claritatea expunerii, marcată de scoaterea în evidență a momentelor cheie ale demonstrațiilor, calitatea excepțională a materialului ilustrativ sînt cîteva dintre caracteristicile acestei lucrări.

* Anul nașterii: 1747 — înființarea primei instituții inginerești: École des Ponts et Chaussées.

Este de dorit, ca editurile noastre în viitorul apropiat (sau mai îndepărtat), să poată oferi cititorilor lucrările de specialitate în condiții grafice similare celor în care este editată această operă.

Conform celor de mai sus, considerăm că lucrarea poate fi recomandată tuturor celor care vor să ia contact cu un material de bună calitate recent apărut în domeniul electrotehnicii.

Prof. V.N. Nedelcu

CZ 621.319.7

K. A. R e z v i h. **Calculul cîmpului electrostatic din aparatura de înaltă tensiune** (Rasceot electrostaticeskih polei v aparature visocogo naprajenia). Moscova, Editura Energhia 1968.

După ce se arată stadiul cercetărilor în problema determinării cîmpului electrostatic din aparatele electrice ce funcționează la tensiune înaltă, autorul precizează care este modul de aplicare a metodelor de calcul analitice, grafice și cele experimentate pe modelele pentru studierea cîmpului electrostatic. Pe cuprinsul a patru capitole se fac o serie de considerații teoretice și practice privitoare la calculul cîmpului electrostatic și la măsurile care se aplică în faza de proiectare și construcție a aparaturii electrice, cu scopul micșorării influenței dăunătoare a cîmpului electrostatic.

În primul capitol se formulează principalele probleme privind determinarea directă a cîmpului electrostatic, folosindu-se atît relații simple de calcul, cît și o serie de indicații practice determinate prin diverse experiențe.

Astfel se arată care trebuie să fie raportul dintre mărimile geometrice și cele electrice, ca influența cîmpului electrostatic asupra aparaturii să fie practic neglijabilă.

În capitolul al doilea se arată aspectele teoretice și practice care apar în diferite tipuri de aparate. Se insistă asupra formelor plan paralele ale suprafețelor și a contururilor în unghi ascuțit și dreptunghi. Pentru aceste situații se indică formule de calcul atît pentru intensitatea cîmpului, cît și pentru diferența de potențial.

Calculul acestor mărimi electrice este făcut prin diferite metode, cu scopul de a arăta care din ele dă rezultate apropiate de cele măsurate. Rezultatele de calcul sînt indicate în nouă familii de curbe, care arată dependența diferitelor construcții geometrice de mărimile electrice aplicate.

Capitolul al treilea este destinat calculului intensității spațiale a cîmpului electrostatic. Se descriu metodele de calcul și se arată modul de aplicare. Se indică legile electrotehnicii ce caracterizează fenomenele fizice din aceste situații și se rezolvă ecuațiile pentru diverse forme geometrice în prezență supuse tensiunilor înalte. Astfel se arată aspectele teoretice și practice care apar cînd o suprafață plană se găsește în prezența unui corp plan ce se termină la unul din capete cu o suprafață curbă. De asemenea se dă soluția în cazul a două sfere în prezență puse într-un cîmp electrostatic spațial. Rezultatele de calcul sînt concentrate sub formă de curbe, ceea ce permite utilizarea lor în diverse cazuri practice.

În ultimul capitol se dau rezolvări complete pentru o serie de probleme care apar în cazul aparaturii electrice supuse tensiunilor înalte. Pentru situațiile considerate (sfere concentrice, contacte semisferice, electrozi de diferite forme în prezență, suprafețe plane etc.) se determină analitic și experimental intensitatea cîmpului electric. Rezultatele sînt indicate sub forma de curbe. Relațiile complicate sînt simplificate, indicîndu-se gama de variație a erorilor care pot interveni.

Studiul cuprinde 120 de pagini și 110 referințe bibliografice.

Din structura lucrării rezultă că autorul reușește să rezolve o serie de probleme teoretice și practice legate de influența cîmpului electrostatic asupra aparaturii electrice supuse tensiunilor înalte. Modul de tratare a problemelor, prezentarea succintă și clară, diversitatea situațiilor luate în discuție, soluționarea unor aspecte legate de proiectarea și construcția aparatelor electrice recomandă lucrarea ca o sinteză utilă specialiștilor din domeniul electrotehnic.

A. Carabulea

REFERATE

CZ 621.313 *Mașini electrice*

CZ 621.313.333 – 585.3

Krishnamurthy, M. R. și Sastry, V. V. **Progrese în schimbarea vitezei motoarelor asincrone monofazate** (Developments in Speed-Changing, Single-Phase Induction Motors). **Schimbarea vitezei la motoarele asincrone monofazate cu înfășurări într-un singur strat** (Speed-Changing, Single-Phase Induction Motors with Single-Layer Windings). În: I.E.E.E. Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS–87, nr. 4, aprilie 1968, p. 1 111–1 125, 15 fig, 11. ref. bibl. p 1 125–1 129, 1 fig, 6 ref. bibl.

Dacă, pentru reglajul vitezei mașinilor trifazate prin schimbarea numărului de poli, există o bogată literatură, pentru motoarele monofazate lucrările celor doi autori sînt primele de acest gen. În aceste articole se prezintă o soluție îmbunătățită de construcție a unui motor monofazat cu trei viteze de sincronism, mașina putînd porni în oricare din aceste regimuri. Se dă o metodă de modulație asimetrică (repartiție normală pentru 2 p = 8, asimetrică la 2p = 6 și 2p = 10), care permite un reglaj în trei trepte, utilizînd numai șase capete terminale.

Rezultatele experimentale obținute sînt satisfăcătoare recomandînd metoda pentru o largă folosire.

R.M.

CZ 621.314.2 *Transformatoare*

CZ 536.53 ; 621.314.21.017.71

Reiplinger, E. **Dispozitiv de măsurare pentru stabilirea supratemperaturii bobinajului la transformatoare în timpul funcționării** (Messeinrichtung zum Bestimmen der Wicklungsübertemperatur von Transformatoren während des Betriebes). În: ETZ–B, nr. 20, oct. 1968, p. 545–549, 10 fig., 1 grafic.

Temperatura medie a transformatoarelor se stabilește prin măsurarea rezistenței. Pentru măsurarea rezistențelor bobinajului în timpul funcționării se suprapune curentului alternativ un mic curent continuu. În acest articol se descrie un dispozitiv de măsurare, la care curentul continuu de măsură este separat de curentul alternativ — nu printr-un filtru LC ca de obicei — ci printr-un transformator de măsurare a curentului. La acest sistem cîmpul alternativ al tranformatorului de măsură este compensat, în timp ce cîmpul său continuu este decuplat cu ajutorul unui generator Hall. Se obține astfel o filtrare foarte ridicată și o completă separație galvanică a semnalului măsurătorii de obiectul cercetat. Eroarea de măsurare nu întrece ± 1 grad.

După indicarea dezavantajelor pe care le are metoda actualmente în vigoare, la care rezistențele bobinajului se măsurau înainte și imediat după proba de încălzire, deducîndu-se apoi supratemperatura bobinajului, se descrie metoda superpoziției. Este descrisă în primul rînd o schemă cu condensatoare de separație pentru separarea galvanică a bobinajului din transformator de sursa de curent alternativ. În schema următoare se renunță la condensatoarele de separație introducîndu-se în schimb filtrele LC la ampermetru și voltmetru. În alte două scheme următoare se introduc cîte două surse de curent continuu care fac măsurătoarea independentă de variația rezistențelor interioare ale sursei de curent alternativ. Se arată apoi că la această metodă dificultatea principală constă în separarea curentului alternativ de cel continuu (necesar măsurării) deoarece chiar la măsurări foarte precise efectul Seebeck poate falsifica rezultatele.

O metodă care dă posibilitatea obținerii unor tensiuni de măsură suficient de mari chiar la valori minimale ale curentului continuu (față de curentul alternativ), a fost dezvoltată de „Siemens A.G., care pentru separarea curentului continuu de cel alternativ a utilizat un dispozitiv prezentat în trei scheme constînd dintr-un generator Hall introdus în miezul unui transformator de măsură. Se descrie principiul de funcționare al acestui dispozitiv, arătîndu-se în concluzie măsurarea temperaturii în bobinajul și în uleiul unui transformator de 800 kVA.

Gh.C.

CZ 621.315.6 *Materiale izolante. Materiale de instalații*

CZ 621.315.616.96.015.51

Schühleim, E. **Influența exterioară asupra tensiunii de străpungere a pieselor din rășină epoxidică.** (Aeussere Einflüsse auf die Durchschlagspannung von Epoxidharz — Formstoffisolierungen). În: ETZ–B, nr. 18, august 1968, p. 441 — 447, 3 fig. 4 tab. 1 graf.

În acest articol este discutată tensiunea de străpungere în funcția de materialul electrodului, a subîmpărțirii spațiului de străpuns și a suprafeței solicitate, cele de mai sus privind un cîmp omogen și tensiunea alternativă. Din tratarea domeniului, dintre cercetările fundamentale și tehnica aplicațiilor, se pot deduce indicații privind dimensionarea izolamentului rășinilor epoxidice utilizabile în tehnică. Într-o experiență cu anumite forme ale materialului de cercetat, ale electrozilor (Rogowski) etc. sînt date prin trei diferite tabele rezultatele (tensiunile de străpungere), în funcție de materialul electrozilor, de mediul înconjurător și de conformația rășinii cercetate (compactă sau în straturi).

În privința subîmpărțirii distanței de străpungere este demonstrată o experiență, în care electrozii sînt coaxiali, și anume din straturi de sîrme coaxiale, între care era introdus izolantul de cercetat, subîmpărțit la rîndul său prin folii de aluminiu.

În a patra tabelă sînt date valorile tensiunii de străpungere în funcție de mărimea suprafeței solicitate a electrozilor. În general, o dată cu creșterea acestei suprafețe scade rezistența de izolare. De asemenea este important faptul că, la un izolament de rășină epoxidică, o subîmpărțire a grosimei fără intercalarea de straturi metalice nu mărește tensiunea de străpungere.

Gh. C.

CZ 621.316 *Distribuția și reglajul energiei electrice*

CZ 621.315.3/9

Ulise, J. F. **A patra bienală de echipament electric** (La IV-a Biennale de l'Equipement électrique). In: Revue Générale de L'Électricité, tome **77**, nr. 9, 1968, p. 843–858, 18 figuri.

Problemele prezentate se referă la următoarele aspecte: aparatajul electric necesar transportului și distribuției energiei electrice; motoarele electrice de diferite tipuri și puteri; comanda, controlul și automatizarea aparatajului de producere și livrarea energiei electrice; securitatea exploatării instalațiilor electrice; materiale și dispozitive pentru industria electrotehnică.

Se prezintă caracteristicile turbinelor și alternatoarelor de putere medie și mare putere (500 — 600 MW).

Alternatorul de 500 MW este instalat la Krasnoiarsk, debitează sub o tensiune de 15,75 kV, are factorul de putere 0,85, turația 93,8 rot/min și prezintă un randament de 98,25%. Rotorul este răcit cu aer, iar statorul cu apă distilată.

Transformatoarele și convertizoarele statice descrise în articol se referă la aparatajul pentru 750 kV. Caracteristicile electrice ale transformatorului de intensitate U = 750 kV sînt: frecvența 60 Hz, tensiunea de încercare 960 kV, supratensiunile de manevră 1370 kV, curentul în primar 3000 A, iar în secundar I = 15 A, curentul de scurtcircuit 41 kA timp de patru secunde. Se indică și alte tipuri de transformatoare și se specifică avantajele și neajunsurile fiecărui tip descris. Se fac considerații privind caracteristicile transformatoarelor de putere și a redresoarelor de diferite tipuri.

Se trec în revistă condensatoarele folosite în prezent și se precizează caracteristicile noilor tipuri ce se vor construi pînă în 1970.

În domeniul întreruptoarelor se descriu diverse tipuri realizate de firme diferite, în special se insistă asupra întreruptorului de 765 kW. Puterea de rupere a unor asemenea disjunctoare se cifrează la 40 000 MVA pentru curenți de 3 000 A.

Întreruptoarele secționate completează expunerea atît în ceea ce privește descrierea generală, cît și în ceea ce privește caracteristicile.

După prezentarea principalelor tipuri de motoare electrice se fac considerații privind comanda, automatizarea și controlul instalațiilor electrice supuse exploatării.

În privința securității se fac precizări referitor la : limitarea supratensiunilor, exploatarea descărcătoarelor, dimensionarea prizelor de pămînt, arătîndu-se și tipurile de elemente ce satisfac condițiile impuse.

Ultimele materiale și dispozitive prezentate în articol se referă la cabluri, cutii de joncțiune, cutii terminale, materiale pentru racorduri speciale și diverse mașini speciale pentru industria electrotehnică.

A. C.

CRONICĂ

Consfătuirea tehnico-științifică „Supratensiuni și protecția instalațiilor electrice contra supratensiunilor"

[CZ 621.316.93.015.332

În zilele de 8—10 noiembrie 1968 a avut loc la Sinaia consfătuirea tehnico-științifică : „Supratensiuni și protecția instalațiilor electrice contra supratensiunilor" organizată de Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor — Secția energie electrică în colaborare cu Ministerul Energiei Electrice.

La această consfătuire au participat circa 200 de delegați din Ministerul Energiei Electrice, Ministerul Petrolului, Ministerul Industriei Construcțiilor de Mașini — Departamentul Industriei Electrotehnice, Institutul de energetică al Academiei, Institutul Politehnic din București, Iași, Timișoara, Cluj, Institutul metrologic etc. În cadrul consfătuirii s-au prezentat două referate și 26 de comunicări, dintre care cele mai multe au contingențe cu electrotehnica.

Primul referat, intitulat „Probleme ale protecției împotriva supratensiunilor, din sistemul energetic național" întocmit de un colectiv din Ministerul Energiei Electrice (dr. ing. *E. Pavel*, ing. *R. Zane*, ing. *Gh. Broșteanu*) prezintă principalele probleme privind alegerea nivelului de izolație al instalațiilor de înaltă și foarte înaltă tensiune, supratensiunile atmosferice și interne ce apar în instalațiile respective, protecția împotriva acestor supratensiuni. O atenție deosebită s-a acordat mijloacelor de protecție și a caracteristicilor pe care trebuie să le îndeplinească descărcătoarele. A rezultat complexitatea și importanța acestor probleme, precum și necesitatea acordării unei mai mari atenții soluționării lor.

Referatul al doilea intitulat „Stadiul actual de protecție împotriva supratensiunilor a instalațiilor electrice din șantierele petrolifere și măsurile ce se vor lua în viitor" prezentat de către tov. ing. *G. Stănescu*, din Ministerul Petrolului, dă numeroase date privind avariile în rețelele electrice petroliere datorite supratensiunilor atmosferice, precum și daunele provocate de aceste avarii. Totodată se arată principalele probleme care se pun în legătură cu măsurile de protecție ce se impun pentru îmbunătățirea protecției împotriva acestor supratensiuni.

Comunicările prezentate s-au referit la următoarele probleme : metodologie de calcul asupra tensiunilor, coordonarea izolației ; supratensiuni atmosferice ; supratensiuni interne ; încercarea în laborator a izolației și construcția utilajului de încercare ; măsurarea supratensiunilor în sisteme electrice.

În cadrul comunicării „Asupra studierii unor fenomene de tehnica tensiunilor înalte cu ajutorul teoriei probabilităților și a matematicii statistice" (de prof. dr. ing. *G. Drăgan* de la Institutul de energetică al Academiei Republicii Socialiste România), se analizează posibilitatea utilizării acestor metode la studierea unei clase largi de fenomene de tehnica tensiunilor înalte, în regim staționar, în regim tranzitoriu, cu și fără elemente neliniare etc., utilizîndu-se mărimi, vectori sau funcțiuni aleatorii.

Comunicarea „Aspecte ale coordonării izolației în stațiile de foarte înaltă tensiune din Republica Socialistă România" (de ing. *D. Mark*, ing. *D. Aldea*, ing. *N. Popovici* de la I.S.P.E.) cuprinde unele aspecte noi ale coordonării izolației care au determinat alegerea izolației stațiilor de 400 kV prevăzute pentru anii următori, ținîndu-se seama de condițiile specifice acestor stații.

În lucrarea „Delimitarea zonelor izokeraunice ale Republicii Socialiste România" (de ing. *F. Bădulescu* de la I.R.M.E.) se prezintă rezultate privind liniile izokeraunice și amplitudini probabile ale curenților de trăznet pe baza măsurărilor efectuate în țară ; aceste rezultate prezintă interes însă se bazează pe un număr de date relativ redus și nu se pot trage concluzii suficient de concludente.

În domeniul supratensiunilor atmosferice s-au prezentat patru comunicări și anume :

— „Analiza schemelor de protecție a instalațiilor de 6 pînă la 15 kV" (de prof. dr. ing. *G. Drăgan* și șef de lucrări dr. ing. *D. Cristescu*) în care se face o analiză teoretică a schemelor de protecție, luîndu-se în considerare parametrii undei care se propagă spre stație, rezistența de punere la pămînt a aparatelor de protecție, locul de montare a acestor aparate, dîndu-se totodată nomograme pentru determinarea nivelului supratensiunilor pentru diferite scheme de protecție ;

— „Metode de analiză a schemelor de protecție împotriva supratensiunilor atmosferice a stațiilor de foarte înaltă tensiune" (de dr. ing. *A. Cristovici*, ing. *A. Popescu*, ing. *N. Popovici* de la I.S.P.E.) în care prin considerarea unei scheme echivalente cu 4, 6 și 8 noduri s-a studiat, cu ajutorul calculatorului Elliot 4120, influența parametrilor undei, numărului și locului de amplasare a descărcătoarelor etc. privind protecția stațiilor de 220 și 400 kV, obținîndu-se concluzii interesante ;

— „Cu privire la protecția contrasupratensiunilor atmosferice a rețelei de 220 kV din Republica Socialistă România" (de ing. *B. Popa* de la I.R.M.E.) în care se analizează gradul de protecție al instalațiilor de 220 kV pe baza comportării lor la acțiunea supratensiunilor atmosferice, insistîndu-se asupra protecției intrărilor în stație și asupra modului de tratare a conductorului de protecție ;

— „Unele aspecte privind comportarea instalațiilor electromagnetice la supratensiuni atmosferice" (de ing. *L. Săndulescu* de la I.R.M.E.) în care se prezintă date statistice interesante privind avariile și deconectările produse de supratensiunile atmosferice între anii 1963—1967, precum și rezultatele unor măsurări efectuate în sistem cu ajutorul unei instalații de impuls mobile.

— În cadrul lucrării „Determinarea nivelului de izolație al liniilor de 220 kV din Republica Socialistă România" (de ing. *B. Popa* de la I.R.M.E.) se dau rezultatele încercărilor experimentale efectuate de autor cu sprijinul laboratorului central U.E.P.C. pentru determinarea tensiunilor de conturnare la frecvența industrială și la impuls pentru diferite tipuri și lungimi de izolatoare de 220 kV. Rezultatele sînt interesante însă în unele cazuri (de exemplu în cazul încercării

sub ploaie artificială) nu pot fi considerate ca fiind suficient de corecte, nerespectîndu-se toate condițiile impuse de norme.

În domeniul supratensiunilor interne s-au prezentat nouă lucrări și anume :

— „Calculul pas cu pas al supratensiunilor de comutație în sisteme compuse din linii și elemente concentrate.Teorie generală" (de conf. dr. ing. *A. Semlyén* de la Institutul Politehnic Timișoara) și „Aplicații la o linie trifazată cu compensare inductivă transversală" (de ing. *M. Nemeș* de la Institutul Politehnic Timișoara). În cadrul acestor lucrări se prezintă o metodă de integrare numerică a ecuațiilor diferențiale ale sistemului cu elemente concentrate pentru calculul pas cu pas al fenomenelor tranzitorii, precum și o aplicație pentru o linie trifazată de înaltă tensiune cu compensare transversală, calculul făcîndu-se numeric determinîndu-se la fiecare pas curenții și tensiunile undelor incidente la ambele capete ale liniei.

— „Asupra criteriilor de alegere a descărcătoarelor pentru protecția împotriva supratensiunilor interne" (de dr. ing. *A. Cristovici*, ing. *A. Bensimon*, ing. *A. Popescu* de la I.S.P.E.) în care se analizează caracteristicile pe care trebuie să le îndeplinească descărcătoarele ca să poată funcționa în condiții satisfăcătoare și anume cu privire la tensiunile minime de stingere admise, energia pe care trebuie să o disipe descărcătorul, corelarea caracteristicilor necesare atît în cazul supratensiunilor interne cît și în cazul supratensiunilor atmosferice. Totodată se stabilesc condițiile referitoare la locul de amplasare al descărcătoarelor din stații și caracteristica tensiunilor reziduale pe care acestea trebuie să le asigure ;

— „Studiul influenței unor parametri ai schemei asupra valorii supratensiunilor ce însoțesc deconectarea liniilor de 110 pînă la 220 kV în gol" (de conf. dr. ing. *V. Negru* de la Institutul Politehnic Timișoara) în care se studiază în ce măsură amplitudinea și forma supratensiunilor depind de puterea sursei, lungimea liniei conectate, prezența altor linii în gol care pleacă de la aceleași bare etc. Se prezintă de asemenea curbele de variație ale frecvenței oscilațiilor proprii ale sistemului, în regim tranzitoriu ;

— „Unele aspecte ale tensiunilor de restabilire la bornele întreruptorului și posibilitățile de evaluare" (de dr. ing. *A. Cristovici*, ing. *A. Bensimon*, mat. *A. Stoadeker* de la I.S.P.E.). În lucrare se propune o metodă de calcul a tensiunilor de restabilire, precum și un program de calcul pentru un calculator digital. Rezultatele prezentate sînt interesante însă în unele cazuri, insuficient de concludente ;

— „Supratensiuni posibile pe punctul neutru al transformatoarelor ; metode de determinare" (de ing. *D. Mark*, ing. *D. Necșulescu*, ing. *S. Velicu* de la I.S.P.E.). Obiectul lucrării îl constituie stabilirea pe un calculator analogic a supratensiunilor pe neutrul transformatoarelor în rețelele cu neutrul efectiv legat la pămînt, în cazul defectelor nesimetrice. În acest scop s-a utilizat un calculator analogic MEDA—8 considerîndu-se scurtcircuite mono și bifazate. Metoda de calcul propusă este corectă cu observația că modelul transformatorului reprezintă un model incomplet în bună parte și datorită capacității reduse a calculatorului analogic utilizat ;

— „Influența căderii de tensiune în arc asupra tensiunii de restabilire care apare pe camerele de stingere ale întreruptoarelor tip ortojector" (de dr. ing. *B. Mathé* de la ICENERG), în care se analizează teoretic și experimental consecințele pe care le are căderea mare de tensiune în arc la întreruptoarele de tip ortojector asupra valorii de vîrf a tensiunii de restabilire și asupra valorii de vîrf a tensiunii de restabilire, precum și asupra puterii de creștere a acesteia în regimul de comutație ;

— „Asupra fenomenelor de autoexcitație a hidrogeneratoarelor racordate la rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune (de ing. *D. Necșulescu* și ing. *M. Popovici* de la I.S.P.E.). În lucrare se prezintă un model matematic pentru studiul fenomenului de autoexcitare, luînd în considerare influența unor parametri ca : saturația rotorului generatorului și a miezului transformatorului, înfășurările de amortizare etc. Totodată se dau unele rezultate de calcul pentru cazurile studiate ;

— „Supratensiuni de rezonanță provocate de curenții armonici în rețelele de distribuție ale consumatorilor industriali" (de ing. *A. Bensimon* și mat. *T. Pușcoci* de la I.R.M.E.), în care se interpretează rezultatele unor studii privind spectrul de armonici măsurat în unele rețele electrice care alimentează consumatorii industriali deformați. Se arată totodată că datorită supratensiunilor de rezonanță a apărut în unele cazuri străpungerea izolației și se propune o diagramă pentru prevenirea supratensiunilor de rezonanță.

În legătură cu încercarea în laborator a izolației și construcția utilajului de încercare s-au prezentat lucrările :

— „Problemele încercării echipamentului electrotehnic de înaltă tensiune la suprasarcini la comutație" (de ing. *Gh. Popescu* de la I.C.P.E.). Arătîndu-se că se impun încercări ale echipamentului electrotehnic și la supratensiuni interne, în lucrare se analizează metodele și instalațiile de încercare utilizate în prezent. Totodată se prezintă cîteva din rezultatele experimentale obținute la I.C.P.E ;

— „Proiectarea și realizarea unei instalații de impuls pentru determinarea nivelelor de protecție ale descărcătoarelor cu rezistența variabilă" (de prof. dr. ing. *G. Drăgan*, asist. ing. *S. Coatu*, asist. ing. *N. Golovanov*, șef lucr. ing. *I. Mărgineanu*). Spre deosebire de metodele de calcul existente, privind instalația de impuls de curent, în lucrare, pe baza teoriei similitudinii, se prezintă o soluție mai generală care permite precizarea valorii parametrilor instalației calculate ;

— „Construirea unui generator din impulsuri și a unui model de linie coronată" (de șef lucr. dr. ing. *D. Cristescu* de la I.P.B. și ing. *D. Budașcă* de la I.R.M.E.). În lucrare se arată rezultatele obținute cu ajutorul unui model fizic construit de autori pentru cercetarea comportării schemelor de protecție a stațiilor contra undelor de supratensiune luînd în considerare îndeosebi influența descărcării unora asupra deformării undei incidente. Studiile efectuate au considerat o variație largă a parametrilor undei și a lungimii liniei pe care se efectuează propagarea acestei unde ;

— „Considerații cu privire la construcția, încercarea și exploatarea descărcătoarelor cu rezistență variabilă" (de ing. *S. Donici* de la I.C.P.E.) în care se fac o serie de considerații tehnico-economice legate de alegerea și exploatarea descărcătoarelor fabricate în țară, menționîndu-se totodată încercările de tip și de serie efectuate.

— „Îmbunătățirea schemei de protecție electrică a instalațiilor de telecomunicații" (de ing. *P. Perciun* de la Ministerul Căilor Ferate), care cuprinde prezentarea unui protector asociat cu un eclator de capacitate realizat în cadrul secției de lucrări C.F.R. București pentru protecția instalațiilor de telecomunicații.

Ultima grupă de lucrări s-a referit la măsurarea supratensiunilor în sistem, cuprinzînd patru lucrări și anume :

— „Încercarea echipamentului energetic în condiții de exploatare" (de colectiv T.T.I. de la I.R.M.E. și I.S.P.E.). Arătîndu-se dificultățile de efectuarea probelor în diferite puncte ale sistemului, în lucrare se analizează condițiile pe care trebuie să le satisfacă o stație de încercare racordată la sistemul energetic, precum și schema stației de încercări propusă a fi realizată ;

— „Determinarea supratensiunilor interne prin încercări directe în sistemul energetic din Republica Socialistă România" (de ing. *A. Ionescu*, ing. *B. Popa*, ing. *A. Bensimon* și ing. *A. Bratu* de la I.R.M.E.). În lucrare se prezintă rezultatele încercărilor experimentale efectuate în rețelele de 110—400 kV, considerînd diferite scheme de conexiuni ; se analizează de asemenea influența întreruptoarelor și a schemei de comutație asupra nivelului de supratensiuni ;

— „Scheme și mijloace de înregistrare a supratensiunilor interne" (de ing. *B. Popa*, ing. *R. Goldenberg*, ing. *A. Bratu* de la I.R.M.E.) în care se studiază cerințele pe care trebuie să le îndeplinească schemele de înregistrare a supratensiunilor interne, prezentîndu-se unele aparate de măsură construite la I.R.M.E. (contoare de supratensiuni, oscilograf cu baleiaj mecanic, divizoare de supratensiune, comutator program) ;

— „Analiza comportării mijloacelor de protecție în exploatare" (de ing. *D. Launer* de la I.R.M.E.). În cadrul lucrării se analizează comportarea descărcătoarelor cu rezistență variabilă, a descărcătoarelor tubulare și a eclatoarelor de protecție pe baza a peste 10 000 ani descărcător de observație. Datele prezentate, deosebit de interesante, permit tragerea unor concluzii utile privind aportul aparatelor menționate în protecția stațiilor și posturilor de transformare contra

supratensiunilor atmosferice, tratînd probleme concrete, legate de necesităţile imediate ale producţiei.

Cea mai mare parte dintre lucrările prezentate s-au caracterizat printr-un nivel ridicat. În cadrul acestor lucrări s-au prezentat noi metode analitice de calcul, realizări de utilaje sau scheme pentru încercări experimentale. De asemenea, interesante şi utile au fost datele de exploatare privind comportarea instalaţiilor electrice la acţiunea supratensiunilor interne sau atmosferice arătate îndeosebi de către unităţile de exploatare. Dovadă a interesului pe care l-au produs lucrările prezentate reprezintă discuţiile deosebit de ample şi numeroase care au avut loc.

Lucrările ca şi discuţiile purtate au arătat totodată că nivelul preocupărilor în domeniul supratensiunilor în ţara noastră a crescut mult şi că această problemă preocupă un cerc larg de specialişti.

Din discuţii a rezultat necesitatea de a dezvolta cercetări în domeniul coordonării izolaţiei, a calculului şi a metodelor de determinare a supratensiunilor atmosferice şi interne, pentru îmbunătăţirea protecţiei contra acestor supratensiuni.

Datele de exploatare prezentate au arătat că în cadrul adoptării unei scheme de protecţie stabilite pe baze ştiinţifice, numărul de avarii a scăzut sensibil. Totodată s-a pus problema necesităţii completării bazei materiale experimentale, precum şi a unei coordonări cît mai strînse între constructorii de utilaj electrotehnic de înaltă tensiune şi unităţile de proiectare şi de exploatare a instalaţiilor electroenergetice. S-a pus de asemenea problema unei colaborări mai strînse între institutele de învăţămînt superior, institutele de cercetare ale Academiei sau departamentale pe de o parte şi instituţiile de proiectare, construcţie şi exploatare, pe de altă parte.

Problemele menţionate au constituit obiectul unor concluzii şi recomandări care au fost adoptate de consfătuire. Majoritatea celor ce au luat cuvîntul au cerut, luînd în considerare schimbul util de păreri ce au avut loc, ca pe viitor să se organizeze periodic consfătuiri tehnico-ştiinţifice pe tema coordonării izolaţiei şi protecţiei instalaţiilor contra supratensiunilor.

Prof. dr. ing. *G. Drăgan*

SCURTE ŞTIRI

Pe noua linie de metropolitan londoneză se introduce conducerea automată. Conductorul, prin apăsare pe buton închide uşile, porneşte trenul şi redeschide uşile la staţia următoare. Toate operaţiile necesare în timpul circulaţiei, pînă la oprire sînt realizate de către un computer. Conductorul poate însă interveni cînd automatizarea se defectează. Tot pe cale automată sînt eliberate şi biletele de călătorie.

Din: ETZ–B, nr. 20, 1968

Un far de semnalizare acţionat doar de valurile mării se găseşte pe o mică insulă în golful Tokio şi lucrează de peste un an. Fiecare val comprimă aer într-un tub conic, care acţionează o mică turbină de aer cuplată direct cu un generator electric. Energia produsă se strînge într-un acumulator care, la sosirea întunericului, aprinde automat o lampă de 100 W.

Din: ETZ–B, nr. 20, 1968

Un generator de impuls cu o putere de 2 000 GW, disponibilă timp de 60 μs a fost realizat de firma americană „Physics International". Energia, care este transformată în radiaţii β, γ sau în radiaţie de neutroni, se descarcă într-o cameră, în care sînt cercetate materiale din punctul de vedere al acţiunii radiaţiilor.

Din: ETZ–B, nr. 20, 1968

Un material izolant pentru conductoare electrice, care nu poate fi atacat de animale rozătoare, a fost realizat şi experimentat de o întreprindere a industriei chimice americane.

Din: ETZ-B, nr. 20, 1968

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. şt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republici Socialiste România; acad. dr. doc. şt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc şt. tehn. V. CORLĂŢEANU; ing. ŞT. GROSU; prof. dr. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; conf. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTIANA POPESCU; ing. VL. POPOVICI; acad. prof. dr. doc. şt. tehn. ing. R. RĂDULEŢ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista "ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare şi publicaţii tehnice al M.I.C.M., cu sediul în Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, Sectorul 1, telefon redactor şef: 14.90.27. Redacţia: Bucureşti, str. Ion Ghica, nr. 3, sector IV; telefon secretar general de redacţie: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon: 16.21.70 interior 173. Instituţiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 40060300 Banca Naţională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, Bucureşti. Tarif pentru instituţii şi întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informaţia", Bucureşti, str. Brezoianu, nr. 23 — 25, c. 3021. *Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 10/10275/1968*

41 400

CONTENTS

DC 621.313.13.017.7.621.34

Bogoevici, M. : **Heat checking up of electric drive motors, in case of aleatory stationnary variations of working parameters.**

Electrotehnica **17**, nr. 3, martie 1969, p. 85–89

A method of calculation regarding the checking up, when heated, of electric drive motors with linear characteristics in the event that working parameters present aleatory stationnary variations is given. In order to calculate equivalent quantities (current, couple), correlation functions, power spectral density and the system's transfer function are utilized.

DC 621.313.13.003.1

Tepeluş, P. : **Contributions concerning the determining of electric motors'cost.**

Electrotehnica **17**, nr. 3, martie 1969, p. 89–97

General and particular formulae for calculating electric motors depending on their rated moment and established on the basis of data contained in price catalogues are given. The formulae enable the setting of a correlation between natural indicators, materialized by means of primary constructive parameters, economic indicator and aleatory factors, determined by manufacturing process, and other social factors.

DC 621.315.21.054.002 : 621.311.1 : 621.39

Cruceru, C. : **Present trends in building power and telecommunication electric cables.**

Electrotehnica **17**, nr. 3, martie 1969, p. 98–105

The present trends in the building of power and telecommunication electric cables are shown. The types of power and telecommunication cables used throughout the world, their characteristics and fields of application are described. Further, the achievements obtained in electric cables industry, the progress realised in this field, the new types of assimilated cables, as well as the cables and conduits intended to be assimilated within the framework of the future development of the electric cables'industry in the Rumanian Socialist Republic are shown.

DC 621.315.614.73 :621.315.616.96.002.4

Nicola, Gr. : **The influence of finishing upon the characteristics of glass textolite with modified phenolphormaldehyde resins.**

Electrotehnica **17**, nr. 3, martie 1969, p. 106–110

The means of obtaining a new type of electrotechnic glass-textolite with phenolphormaldehyde resins, achieved at the Bucharest cables and electroinsulated materials plant, as well as its characteristics in normal conditions under a constant temperature of 155°C and a 95 per cent moisture (or during a long period in water) are described.

The influence of finishing by glass fabric on the final characteristics of glass textolite is also shown

---

DC 621.318.521.004 : 537.321

Goldimberg, S. : **Differential thermobimetal relays.**

Electrotehnica **17**, nr. 3, martie 1969, p. 111–119

The working principle of differential thermic relays is expounded and two constructive forms are described.

The influence of the number of bimetal blades acting on the very same integrating rod upon active power and sag is also pointed out. Further, the power and sag reductions in the event of phase shortage, on the basis of which differential mechanic elements are calculated, are studied.

Finally, a card, containing the technical data of the new relay blocks manufactured in Romania, is given.

REVIEWS 120

REPORTS 121–122

CHRONICLE 122–124

RBIEF NEWS 124

SOMMAIRE

CD 621.313.13.017.7 :621.34

Bogoevici, M. : **La vérification thermique des moteurs électriques d'entraînement lorsque se produisent certaines variations aléatoires, stationnaires, des paramètres de fonctionnement.**

Electrotehnica **17**, no. 3, mars 1969, p. 85–89

On présente une méthode de calcul pour la vérification pendant l'échauffement des moteurs électriques d'entraînement ayant des caractéristiques linéaires, au cas où les paramètres de fonctionnement présentent des variations à caractère aléatoire stationnaire. Pour le calcul des valeurs équivalentes (courant, couple) on utilise les fonctions de corrélation, la densité spéciale de puissance ainsi que la fonction de transfert du système.

CD 621.313.13.003.1

Ţepeluş, P. : **Contributions à la détermination du prix des moteurs électriques.**

Electrotehnica **17**, no. 3, mars 1969, p. 89–97

On présente des formules générales et spéciales pour le calcul des moteurs électriques, par rapport à leur moment nominal, formules basées sur les données contenue dans les catalogues de prix. Ces formules permettent d'établir une corrélation entre les indicateurs naturels concrétisés au moyen des principaux paramètres constructifs, de l'indicateur économique et des facteurs aléatoires, déterminés par la tehnologie de fabrication, es au moyen de certains autres facteurs de nature sociale.

CD 621.315.21.054.002 : 621.311.1 : 621.39

Cruceru, C. : **Tendances actuelles dans la construction des câbles électriques de force et de télécommunication.**

Electrotehnica **17**, no. 3, mars 1969, p. 98–105

On présente les tendances actuelles dans la construction des câbles électriques de force et de télécommunication utilisés à l'echelle du plan mondial, leurs caractéristiques et leurs domaines d'application. On présente ensuite les réalisations obtenues dans l'industrie des câbles électriques, les progès enregistrés dans ce domaine, les nouveaux types de câbles assimilés ainsi que les câbles et les conduites indiqués pour être assimilés durant les développements futurs de l'industrie des câbles électriques de la République Socialiste Roumaine.

CD 621.315.614.73 : 621.315.616.96.002.4

Nicola, Gr. : **L'influence du finissage sur les propriétés du produit dénommé „sticlotextolite" à base de résines phénolformaldehydiques modifiées.**

Electrotehnica **17**, no. 3, mars 1969, p. 106–110

On présente le mode d'obtention d'un nouveau type de produit électrotechnique, dénommé „sticlotextolite" à base de résines phénolformaldéhydiques, réalisé par la Fabrique de câbles et de matériaux électroisolants, de Bucarest. On spécifie les propriétés de ce produit utilisé dans des conditions normales, pendant le maintien de la température de 155°C, à une humidité de 95% ainsi que lorsqu'il est maintenu dans l'eau pendant un laps de temps assez long.

On montre aussi l'influence du traitement de finissage du tissu en verre sur les propriétés finales du sticlotextolite.

CD 621.318.521.004 : 537.321

Goldinberg, S. : **Relais thermo-bimétalliques différentiels.**

Electrotehnica **17**, no. 3, mars 1969, p. 111–119

On indique le principe de fonctionnement des relais thermiques différentiels et on décrit deux formes constructives.

On met aussi en évidence l'influence du nombre de lamelles bimétalliques travaillant sur une même tige-intégrateur sur la force et la flèche active. On étudie ensuite les réductions de force et de flèche lorsque une des phases manque et on calcule, basé sur ces variations, les éléments mécaniques différentieles.

A la fin de l'article on présente une fiche comprenant les données techniques des nouveaux blocs de relais, fabriqués dans notre pays.

COMPTES – RENDUS 120

RÉFÉRATES 121–122

CHRONIQUE 122–124

BRÈVES COMMUNICATIONS 124

TITLURI DOCUMENTARE

CZ 621.311 CENTRALE ELECTRICE. INSTALAȚII DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ

CZ 621.311.1.027.8 :621.316.54.069
Kuhn, H.D. și *Rogalsky, I.* **Supratensiunile de manevrare în rețelele de tensiune foarte înaltă.** În : Elektrotech. Z. (ETZ.A) **89**. nr. 21, 11 oct. 1968, p. 577—582, 10 fig., 1 tab 17 ref. bibl.

CZ 621.311.224.8.088.22
Umlauf, A. **Precizia transformatoarelor de măsurarea intensității în regim staționar.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—B) **20**, nr. 2, 18 oct 1968, p. 613—616, 8 fig., **1** tab., 8 ref. bibl.

CZ 621.313 MAȘINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU ȘI ALTERNATIV. GENERATOARE. MOTOARE

CZ 621.313.1.047
Bates, J.J. **Comutarea cu tiristoare la mașinile electrice.** In : Proc. I.E.E. **115**, nr.6, ian 1968, p. 791—801, 22 fig. 4, ref. bibl.

CZ 621.313.33"71"(100)
Sander, H. **Dezvoltarea internațională a motoarelor asincrone trifazate.** In : Elektrie **22**, nr. 4, apr 1968, p. 139—146, 12 fig., 2 tab., 23 ref. bibl.

CZ 621.313.331.1.025 : 621.319.4
Pliesci, B.M. și *Reifman, D.I.* **Calculul motorului monofazat cu condensator.** In : Elektricestvo **89**, nr. 6, iun 1968, p. 26—29, 3 fig., 5 ref. bibl.

CZ 621.313.333.025.1.
Hans, V. **Metode asincrone monofazate cu înfășurare trifazată asimetrică.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—A) **89**, nr. 22, 25 oct 1968, p. 607—610, 8 fig., 6 ref. bibl.

CZ 621.313.392
Falk, K. și *Kunz, D.* : **Motorul de reluctanță cu spațieri interpolare în formă de segment.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—A) **89**, nr. 22, 25 oct 1968, p. 617—619, 5 fig., 1 tab., 2 ref. bibl.

CZ 621.314 TRANSFORMAREA ENERGIEI ELECTRICE. TRANSFORMATOARE. CONVERTIZOARE. REDRESOARE. COMUTATRICE

CZ 621.314.21.017.71 :536.53
Reiplinger, E. **Dispozitiv de măsură pentru determinarea căldurii de înfășurare a transformatoarelor în lucru.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—B) **20**, nr. 20, 4 oct 1968, p. 545—550, 11 fig. 7 ref. bibl.

CZ 621.314.212.048.1
Kaplan, D.A. ș.a. **Caracteristicile electrice ale izolației cu barieră de ulei la transformatoarele de mare putere.** In : Elektricestvo **89**, nr. 7, iul 1968, p. 58—61, 4 fig., 3 tab., 8 ref. bibl.

CZ 621.314.27.07.
Franke, J. **Comanda convertizoarelor statice pentru alimentarea motoarelor, utilizate în filaturile de fibre chimice.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—B) **20**, nr. 21, 18 oct 1968, p. 616—622 12 fig.

CZ 621.314.5 :621.319.4 :621.382.233.3
Busalaev, G.M. și *Svarț, G.K.* **Aprecieri privind dispozitivele cu condensatoare pentru blocarea tiristoarelor.** In : Elektricestvo **89**, nr. 6, iun 1968, p. 45—50, 8 fig., 6 ref., bibl.

CZ 621.314.632.004.68 :621.311.44
Petriaiev, L.A. și *Makerov, V.P.* **Experiența de exploatare a agregatelor redresoare semiconductoare.** In : Prom. Energhetika **23**, nr. 5, mai 1968, p. 18—20, 3 fig.

CZ 621.315 TRANSMISIA ENERGIEI ELECTRICE. LINII AERIENE. CABLURI. CONDUCTOARE. MATERIALE IZOLANTE. MATERIALE DE INSTALAȚII

CZ 621.315.6.001.5 :621.313
Bajenova, T. Iu. și *Vakser, B.D.* **Cercetarea îmbătrînirii electrice a izolației de înaltă tensiune a mașinilor electrice.** In : Elektricestvo **89**, nr. 7, iul 1968, p. 79—82, 5 fig., 1 tab., 6 ref. bibl.

CZ 621.315.615
Stepanciuk, K.F. **Mișcarea bulelor de gaz cu uleiul de transformator sub acțiunea cîmpului electric.** In : IZV VUZ Energhetika **11**, nr. 5, mai 1968, p. 20—27, 1 fig., 1 tab., 4 ref. bibl.

CZ 621.315.62.001.4
Sorms, R. **Sursă de tensiune continuă pentru examinarea izolatoarelor poluate.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—A) **89**, nr. 21, 11 oct 1968, p. 596—598, 8 fig.

CZ 621.316 DISTRIBUȚIA ENERGIEI ELECTRICE. REȚELE. REDESCHIDEREA ȘI ÎNCHIDEREA CIRCUITELOR. REGLAREA MĂRIMILOR ELECTRICE. PROTECȚIA APARATELOR ȘI INSTALAȚIILOR.

CZ 621.316.1
Bodier, G. **Detecția și localizarea defectelor de izolație în instalațiile de joasă tensiune neavînd nulul legat direct la pămînt.** In : Equip. Electr. Electron, nr. **278**, apr 1968, p. 80—94, 15 fig.

CZ 621.316.7—213.44 : 621.317.7—213.44
Bewerunge, R. **Protecția antideflagrantă a materialelor de telecomunicații utilizate în reglare.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—B) **20**, nr. 21, 18 oct 1968, p. 607—613, 15 fig., 14 ref. bibl.

CZ 621.316.93 : 621.315.212
Widl, E. **Protecția contra supratensiunilor repetitorilor intermediari asupra cablurilor coaxiale mici telealimentați.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—B) **20**, nr. 22, 1 nov 1968, p. 633—639, 7 fig., 10 ref. bibl.

CZ 621.317 TEHNICA MĂSURILOR ELECTRICE. APARATE DE MĂSURĂ

CZ 621.317.335.3. 621.315.614.6
Artbauer, J. **Determinarea permitivității și a factorului de pierderi dielectrice în celuloză.** In : Elektrotechn. Obzor **57**, nr. 5, mai 1968, p. 250—256, 8 fig., 15 ref. bibl.

CZ 62.317.385
Luder, W. **Convertizoare de măsură pentru puterea electrică.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—B) **20**, nr. 20, 4 oct 1968, p. 550—560, 8 fig., 3 tab., 29 ref. bibl.

CZ 621.317.72.082.74 : 621.313.333.042.4
Frohne, H. și *Seinsch, H.O.* **Realizarea practică și încercarea experimentală a unui dispozitiv de supraveghere a întrefierului.** In : E. und M, **85**, nr. 6, iun 1968, p. 275—280, 10 fig., 5 ref. bibl.

CZ 621.317.732.001.24
Schwab, A. **Calculul lărgimii de bandă și a timpului de creștere în cazul rezistențelor de măsură coaxiale și tubulare, luînd în considerare efectul pelicular.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—A) **89**, nr. 22, 25 oct 1968, p. 604—606, 11 fig., 13 ref. bibl.

CZ 621.317.332.537.311.5
Pouplier, L. **Calculul rezistenței complexe, în curent alternativ, a conductoarelor cilindrice cu secțiune rectangulară.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—A) **89**, nr. 22, 25 oct 1968, p. 611—617, 14 fig., 1 tab., 11 ref. bibl.

CZ 621.318 APLICAȚII INDUSTRIALE ALE MAGNETISMULUI ȘI MAGNEȚILOR. ELECTROMAGNEȚI. RELEE

CZ 621.318.24
Schmied, H. **Probleme legate de magnetizarea permanentă prin impulsuri.** In : Elektrotech. Z. (ETZ—A) **89**, nr. 21, 11 oct 1968, p. 582—586, 7 fig., 18 ref. bibl.

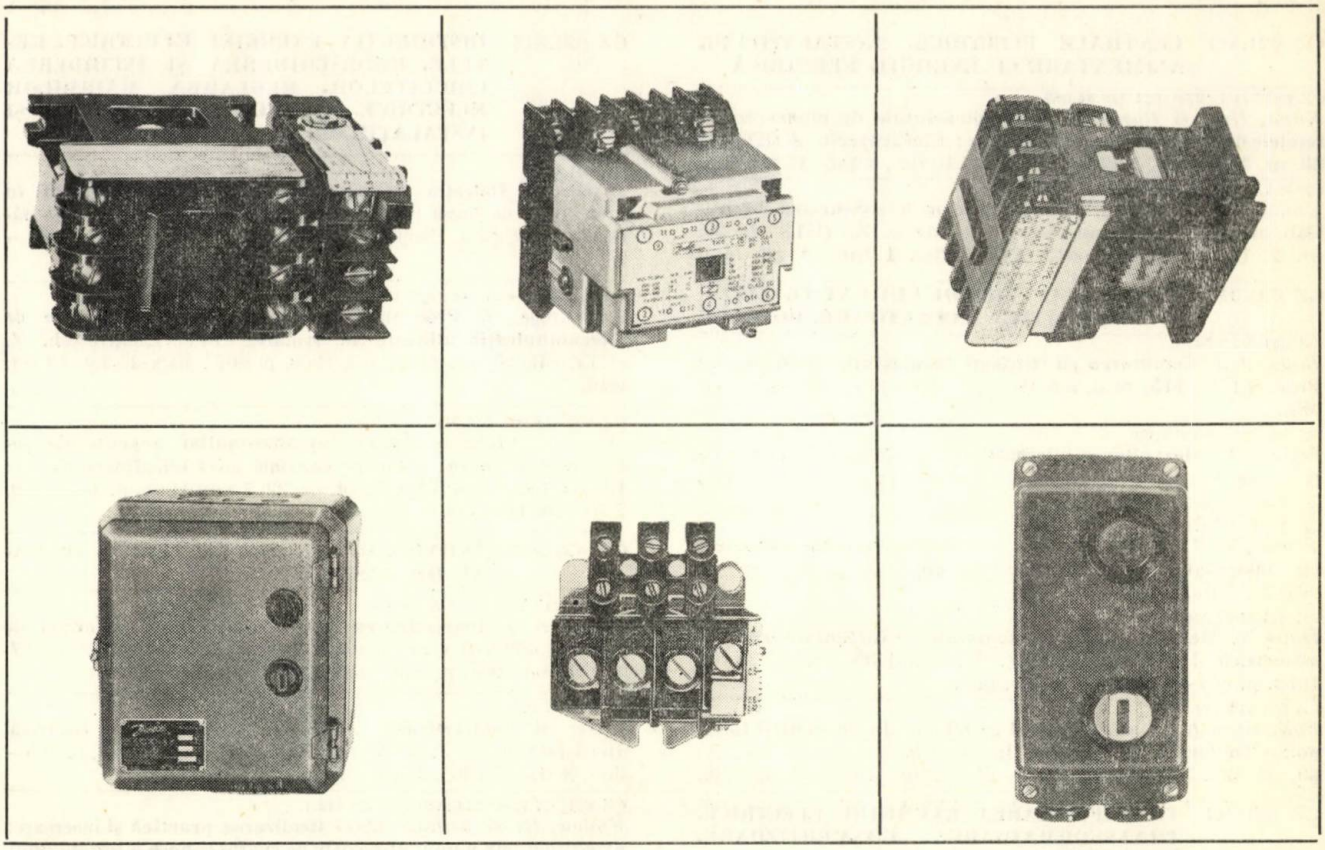
CZ 621.318.3
Puzirtiskii, G.S și *Slivinkaia, A.G.* **Mărirea vitezei de lucru și a eficienței economice a electromagneților în manta.** In Elektricestvo **89**, nr. 6, iun 1968, p. 65—68, 5 fig., 2 tab., 4 ref. bibl.

CZ 621.318.3.013.1.001.24
Bull, O.B. **Despre calculul sistemelor magnetice cu întrefier mare.** In : Elektricestvo **89**, nr. 7, iul 1968, p. 83—85, 3 fig., 2 tab., 5 ref. bibl.

CZ 621.83 ACȚIONĂRI ELECTRICE

CZ 621—83 : 621.314.26.001.1 : 621.382.233
Oșcepkov, O.N. ș.a. **Acționări electrice cu reglarea frecvenței, cu redresare pe bază de tiristoare și motor asincron.** In : Elektrotehnika **39**, nr. 6, iun 1968, p. 1—5, 4 fig., 1 tab., 5 ref. bibl.

CZ 621—83 : 621.382.233.977
* * * **Sistem de acționare cu tiristoare pentru fabricile de țesături** (precizie între ± 0,2 %). In : Electr. Tim. **153**, nr. 23, iun 1968, 933—936, 5 fig., 1 tab.

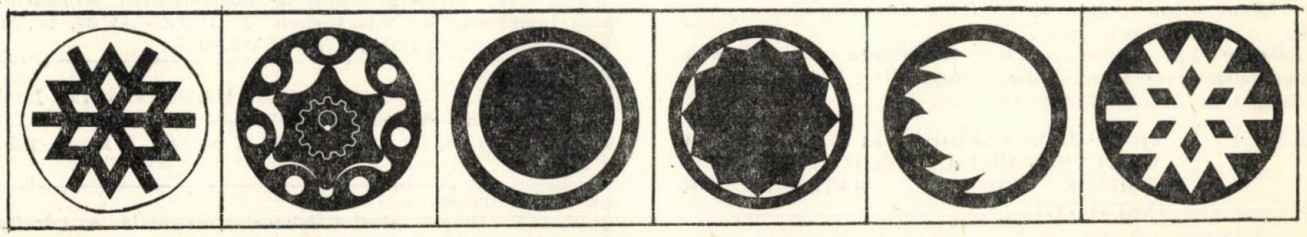


Automatizaţi cu aparatură Danfoss

DANFOSS fabrică în sectorul de producţie pentru instalaţii electrice: relee de comandă, contactoare de protecţie cu aer, automate de protecţie pentru motoare, precum şi diferite grupări de casete întrebuinţate la porniri, pentru comenzi electrice şi pentru protecţia eficace a motoarelor electrice.

PROGRAMUL DE FABRICAŢIE DANFOSS CUPRINDE:

aparate de reglare pentru instalaţii frigorifice	elemente componente pentru arzătoare şi cazane	aparate de reglare pentru instalaţii de încălzire	automate de protecţie pentru motoare şi contactoare	aparatură hidraulică cu ulei	elemente componente pentru aparate de răcire



Vă rugăm să ne vizitaţi la standul nr. 2 al Expoziţiei industriale daneze din Bucureşti, între 20 şi 29.3.1969

Danfoss

DANFOSS, NORDBERG, DANEMARCA

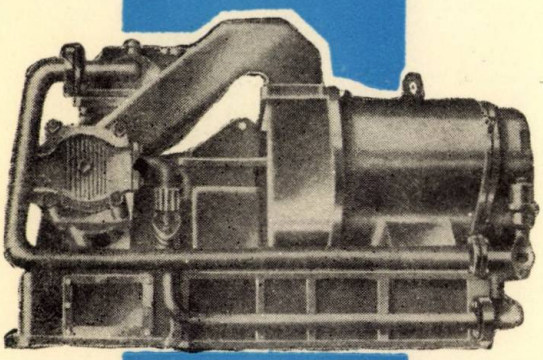
PUBLICOM

Uzina de Motoare și Compresoare

Timpuri Noi

BUCUREȘTI

execută și livrează în țară și străinătate

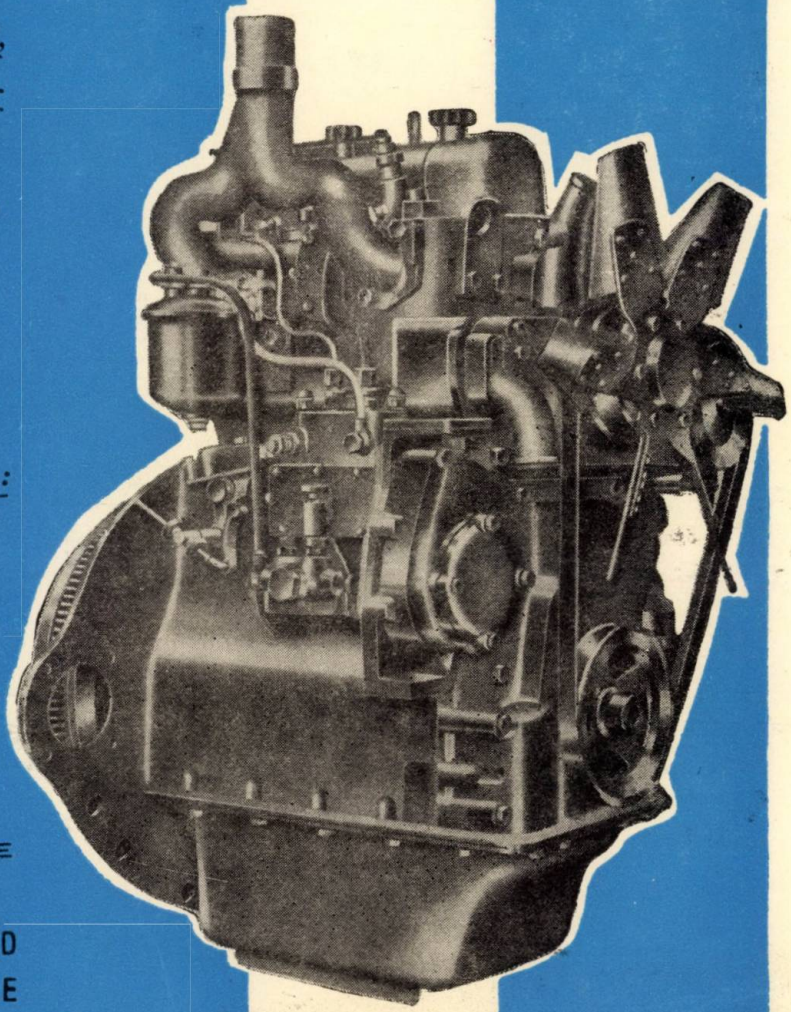


COMPRESOARE DE AER CU PISTON, CU DEBITE PÎNĂ LA 10 m³/min ȘI PRESIUNI 4-14 kgf/cm² PENTRU:

- Locomotive
- Instalații petroliere
- Excavatoare
- Automatizări
- Troleibuze
- Șantiere
- Garaje
- Vopsitorii

MOTOARE DIESEL CU PUTERI PÎNĂ LA 100 CP PENTRU:

- Utilaje de construcții
- Utilaje pentru agricultură
- Pompe de uz general și speciale
- Generatoare de c.a. și c.c.
- Motocare și motoridicătoare
- Ambarcațiuni
- Utilaje pentru silvicultură



PENTRU REZOLVAREA PROBLEMELOR DV. PRIVIND ANTRENAREA CU MOTOARE DIESEL INDUSTRIALE ȘI UTILIZAREA COMPRESOARELOR DE AER CU PISTON

CONSULTAȚI SPECIALIȘTII UZINEI „TIMPURI NOI"

INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

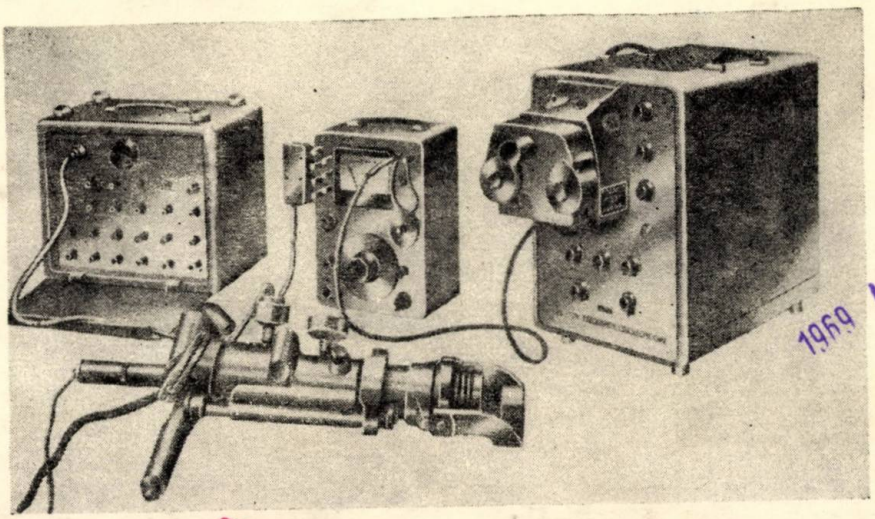
Din Bucureşti — Bd. T. Vladimirescu 45—47 — telefon 31.41.00

Электротехнический Научно-исследовательский и Проектный Институт.

Electrical Engineering and Research Institute

Forschungs-und Proiectierungsinstitut für die Elektroindustrie

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Électrotechnique



1969 AUG 22

Primeşte comenzi de cercetare şi proiectare, cu profil electrotehnic.

Institutul execută studii, încercări, omologări şi prototipuri din domeniul maşinilor şi transformatoarele electrice, aparatelor de joasă şi înaltă tensiune, acţionărilor electrice, climatizării produselor industriale, calculelor cu maşini electronice, materialelor electrotehnice.

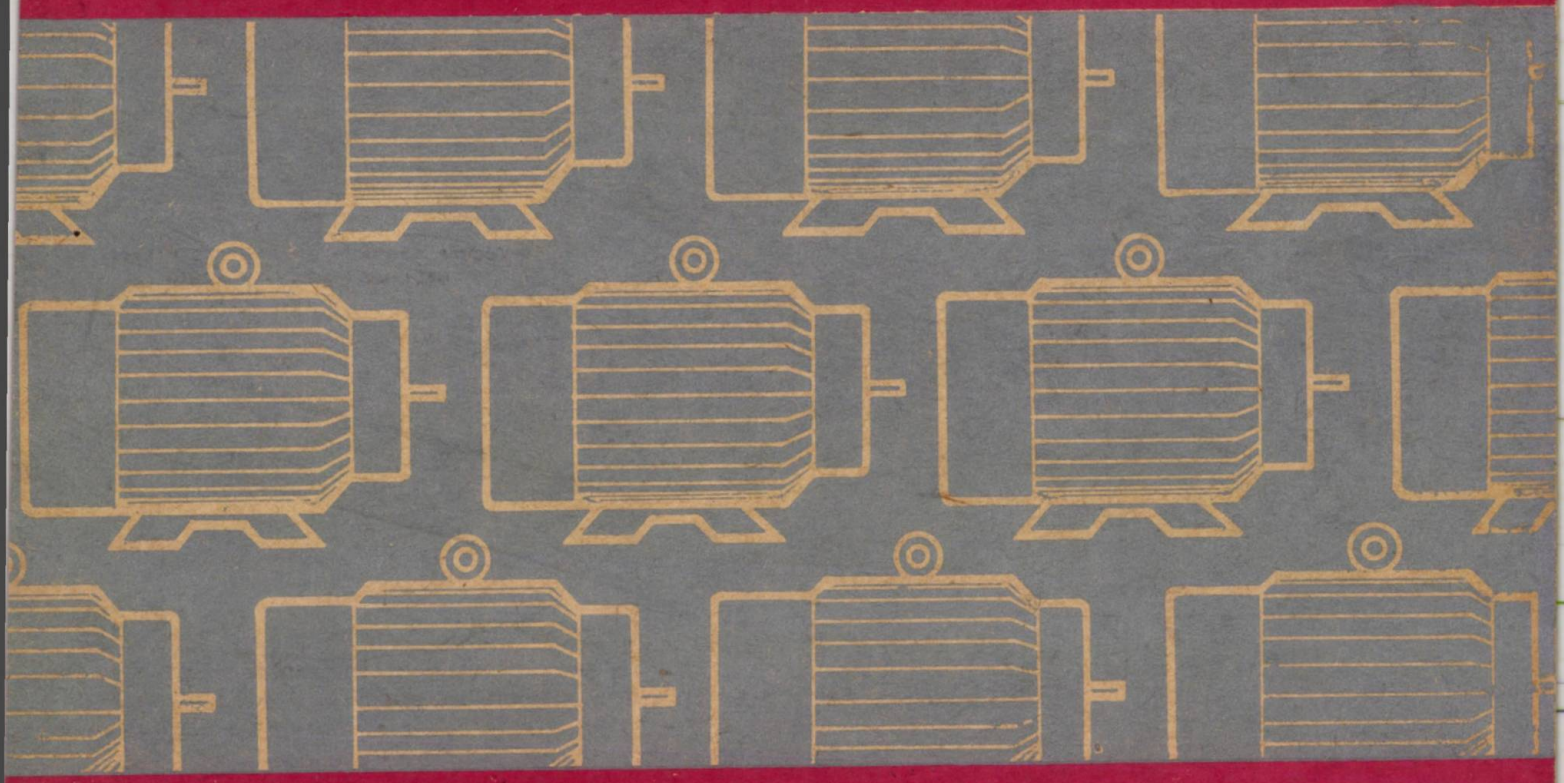
ICPE

E 2040

R

BIBLIOTECA

ELECTROTEHNICA



ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 17 • Nr. 4 • APRILIE 1969

4

UZINA DE MAȘINI ELECTRICE

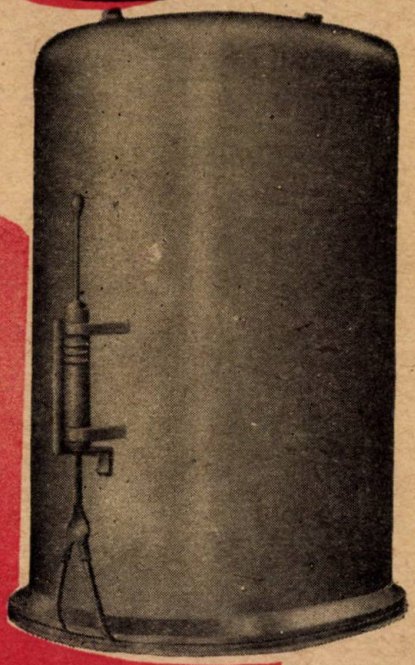
UME BUCUREȘTI

fabrică :

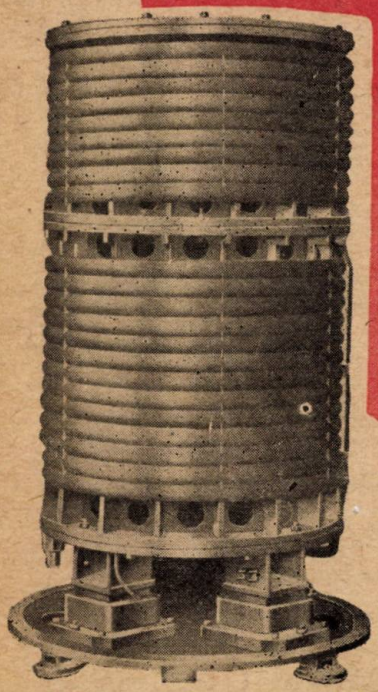
Grupuri convertizoare de medie frecventă pentru topirea metalelor feroase și neferoase, pentru încălzire în vederea forjării, pentru călire superficială etc.

TIPURILE FABRICATE ȘI LIVRATE IN MOD CURENT:

frecventa	2500	8000	8000	Hz
puterea	125	50	100	kW



Vedere generală a unui grup convertizor de medie frecventă.



Grup convertizor de medie frecventă decapotat.

La cerere se pot livra și alte puteri și frecvente cuprinse intre 500 și 10000 Hz. De asemenea se pot livra și grupuri de medie frecventă 150 – 10 000 Hz trifazate sau bifazate pentru cele mai diverse intrebuintări.

Grupurile convertizoare de medie frecventă produse de Uzina de Mașini Electrice București, de o constructie brevetată in țară și străinătate, se caracterizează printr un pret redus și printr-un randament foarte ridicat. La tipul de 100 kW 8000 Hz randamentul global este de 0,84, depășind tot ce s-a realizat pînă azi.

Grupurile convertizoare de medie frecventă produse de Uzina de Mașini Electrice București nu necesită compensarea serie a circuitului de medie frecventă, oferind în acest fel o siguranță absolută în exploatare.

Silentiozitatea este practic perfectă, putînd fi montate chiar în fluxul tehnologic de fabricatie.

Uzina de Mașini Electrice București mai livrează la cerere și dulapul de comandă, precum și un transformator de adaptare.

E 2040

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁRAK ÉS DOKUMENTÁCIÓS INTÉZET BUDAPEST

ELECTROTEHNICA

Anul 17 Nr. 4, p. 125—164 aprilie 1969

CUPRINS

CZ 538.632 :537 :311.33 :621.3.013

De Sabata, I. şi *Daba, D.*: **Cîmpul Hall al curenţilor turbionari din plăci semiconductoare plasate transversal în cîmp magnetic omogen şi variabil în timp.**

Electrotehnica **17**, nr. 4, aprilie 1969, p. 125—130

Se studiază efectul Hall al curenţilor turbionari. Se stabilesc ecuaţiile cîmpului şi se integrează pentru cazuri particulare. Concluziile teoretice sînt verificate experimental.

CZ 621.313.1.012.7

Niculescu, D. şi *Crăciunescu, A.* : **Folosirea grafurilor la prezentarea unitară a teoriei maşinilor electrice.**

Electrotehnica **17**, nr. 4, aprilie 1969, p. 130—136

Se arată că grafurile orientate pot fi folosite ca model topologic calitativ al maşinilor electrice, înlocuind astfel schemele bloc şi schemele echivalente folosite în acest scop. Graful orientat propus în lucrare reprezintă o combinaţie între grafurile Mason, Shelly şi Bickart.

Se introduce noţiunea de „indice de transfer" al unui nod pentru a putea realiza clasificarea coerentă a nodurilor grafurilor orientate. Se prezintă cele şapte transformări structurale la care se pot reduce toate regulile topologice de simplificare şi de transformare a grafurilor Mason. Se stabilesc grafurile transformatorului electric cu două înfăşurări şi ale convertorului electromecanic rotativ izotrop în regim de motor şi în regim de generator.

Prin particularizare şi juxtapunere, din grafurile stabilite se pot obţine grafurile maşinilor electrice uzuale.

CZ 621.316.923.017.001.25

Barbu, I. : **Consideraţii asupra fenomenelor staţionare electrice şi termice la funcţionarea siguranţelor cu fuzibile.**

Electrotehnica **17**, nr. 4, aprilie 1969, p. 137—143

Se studiază ecuaţia încălzirii în regim staţionar pentru fuzibilele siguranţelor electrice, fixîndu-se condiţiile la limită posibile. Calculul soluţiilor pentru cîteva condiţii la limită stabilite s-a făcut ţinîndu-se seama de variaţia rezistivităţii cu încălzirea. Cu ajutorul unei metode originale, şi pe baza formulelor deduse, se determină coeficienţii de transmisie a căldurii K şi η, cu ajutorul cărora se calculează încălzirea fuzibilelor.

CZ 621.791.753.015.53 :621.79

Nichici, Al. : **Noi aspecte privind influenţa mişcării oscilatorii a electrodului asupra proceselor de prelucrare cu scîntei electrice.**

Electrotehnica **17**, nr. 4, aprilie 1969, p. 143—149

Se prezintă rezultatele încercărilor experimentale efectuate pentru determinarea influenţei oscilaţiilor proprii şi forţate ale electrodului asupra fenomenelor de bază ale prelucrării.

Datele obţinute sînt puse în legătură cu procesele de generare a impulsurilor de curent electric, de evacuare a produselor eroziunii şi de stabilitatea prelucrării.

Se evidenţiază posibilităţile de optimizare a prelevării de material în funcţie de aplitudinea oscilaţiilor forţate.

PENTRU TÎNĂRUL INGINER

CZ 621.3.042.1 :621.318.23

Cupşa, A. şi *Boghiu Corina* : **Calculul unor circuite magnetice cu magneţi permanenţi şi dispersie repartizată.**

Electrotehnica **17**, nr. 4, aprilie 1969, p. 149—159

Se dezvoltă două metode de calcul pentru circuitele cu magneţi permanenţi, şi anume: una analitică, care — consideră fluxul de dispersie continuu distribuit şi se aplică la circuite relativ complicate, dar nesaturate; alta, grafică, care consideră fluxul de dispersie repartizat într-un număr finit de intervale, aplicabilă doar la circuite executate din bare prismatice şi valabilă la orice grad de saturaţie. Se prezintă totodată aplicaţii numerice şi verificări experimentale.

RECENZII 159

REFERATE 160—161

CRONICĂ 162—164

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 538.632:537:311.33:621.3.013
Де Сабата, И. и *Даба, Д.*: **Поле Голля вихревых токов от полупроводниковых пластин, поперечно расположенных в однородном и переменном во времени магнитном поле.**
Electrotehnica 17, nr. 4, апрель 1969, стр. 125–130

Изучается эффект Голля вихревых токов. Устанавливаются уравнения поля, интегрируя их для частных случаев. Теоретические выводы были проведены экспериментально.

ДК 621.313.012.7
Никулеску, Д. и *Крэчюнеску, А.*: **Применение граф при ефдинном представлении теории электрических машин.**
Electrotehnica 17, nr. 4, апрель 1969, стр. 130–136

Показано, что ориентированные графы можно применять как качественную топологическую модель электрических машин, заменяя таким образом схемы-блок и эквивалентные схемы, применяемые для этой цели. Ориентированная графа, предложенная в настоящей работе представляет собой сочетание граф Mason, Shelly, Bickart.

Вводитсы понятие ,,показатель передачи'' узла, для осуществления когерентной классификации узлов ориентированных граф. Описано семь структурных преобразователей, к которым можно привести все топологические правила упрощения и преобразования граф Масона. Устанавливаются графы двухобмоточного электротрансформатора и вращающегося электромеханического конвертора в режиме двигателя и в режиме генератора.

Путем применения к частному случаю и сопоставления, из установленных граф можно получить граф обычных электрических машин.

ДК 621.316.923.017.7.001.25
Барбу, И.: **К вопросу о стационарных электрических и термических явлениях при работе плавких предохранителей.**
Electrotehncia 17, nr. 4, апрель 1969, стр. 137–143

Изучается уравнение нагрева в стационарном режиме для плавких электрических предохранителей, уточняя предельно возможные условия. Расчет решений для нескольких установленных предельных условий был проведен с учетом изменения удельного сопротивления по мере нагрева. При помощи оригинального метода и на основе выведенных формул, определяются коэффициенты теплопроводности Π и η, при помощи вычисляется нагрев плавких предохранителей.

ДК 621.791.753.015.53:621.79
Никич, Ал.: **Новые аспекты влияния колебательного движения электрода на процесс обработки электрической искрой.**
Electrotehnica 17, nr. 4, апрель 1969, стр. 143–149

Приведены результаты экспериментальных испытаний, проведенных для определения собственных и принудительных колебаний электрода на основные явления обработки.

Полученные данные были сопоставлены с процессами, образующими импульсы электрического тока, отвода продуктов эрозии и стабильности обработки.

Подчеркивается возможность оптимизации обработки маериала в зависимости от амплитуды принудительных коелбаний.

ДЛЯ МОЛОДОГО ИНЖЕНЕРА

ДК 621.3.042.1:621.318.23
Купша, А. и *Богиу Корина*: **Расчет магнитн цепей с постоянными магнитами и с распределенным рассеянием**
Electrotehnica 17, nr. 4, апрель 1969, 149–159

Описываются два метода расчета для цепей с постоянными магнитами, а именно: аналитический, при котором учитывается поток рассеяния с постоянным распределением — этот метод применяется при относительно сложных, но ненасыщенных цепях, и графический, с учетом потока рассеяния, распределенного на конечное число интервалов, примененимый лишь для цепей из призматических шин и действительных при любой степени насыщения. Приводятся также численная применимость и экспериментальные проверки.

РЕЦЕНЗИИ 159
РЕФЕРАТЫ 160–161
ХРОНИКА 162–164

INHALTSVERZEICHNIS

DK 538.632 :537 :311.33 :621.3.013

De Sabata und *Dobre, I.*: **Das Hallfeld der Wirbelströme in Halbleiterplatten, die quer in einem homogenen und zeitlich veränderlichen magnetischen Feld liegen.**

Electrotehnica **17**, H. 4, April 1969, S. 125–130

Untersucht wird das Halleffekt der Wirbelströme. Es werden die Gleichungen des Feldes bestimmt und für Sonderfälle integriert. Die theoretischen Schlussfolgerungen werden experimentall geprüft.

DK 621.313.1.012.7

Niculescu, D. und *Crăciunescu, A.*: **Die Verwendung der Netzpläne zur Darstellung der einheitlichen Theorie elektrischer Maschinen.**

Electrotehnica **17**, H. 4, April 1969, S. 130–136

Man zeigt dass die gerichteten Netzpläne als qualitatives topologisches Modell der elektrischen Maschinen verwendet werden können und dadurch die Blockschemen und die Ersatzschemen, die zum obigen Zweck verwendet wirden, ersetzen können. Der in dieser Arbeit vorgeschlagene gerichtete Netzplan stehlt eine Kombination der Mason-, Shelly- und Bickartnetzpläne dar.

Es wird der Ausdruck „Uebertragungsfaktor" eines Knotenpunktes eingeführt, um die kohärente Einteilung der Netzplänenknoten vornehmen zu können. Es werden alle sieben Strukturtransformierugen dargestellt, im denen alle topologischen Verreinfachungs- und Transformierungsregeln der Mason'schen Netzpläne zusammengefasst werden können. Dann werden die Netzpläne des elektrischen Transformators mit zwei Wicklungen und des elektromechanischen isotropen Drehumformes beim Motor- und beim Generatorbetrieb bestimmt. Durch eine ausführliche Betrachtung und durch Vergleich kann man aus den festgestellten Netzplänen diejenigen der gebräuchlichen Elektromaschinen erhalten.

DK 621.316.923.017.7.001.25

Barbu, I.: **Betrachtungen bzgl. der stationären elektrischen und thermischen Erscheinungen beim Arbeiten der Schmelzsicherungen.**

Electrotehnica **17**, H. 4, April 1969, S. 137–143

Es wird die Erwärmungsgleichung im stationären Betrieb für die Schmelzeinsätze elektrischer Sicherungen untersucht und die möglichen Grenzbedingungen festgestellt. Die Ausrechnung der Lösungen für einige festgesetzte Grenzbedingungen geschah bei Beachtung der Aenderung des spezifischen Widerstandes mit der Erwärmung. Mit Hilfe einer originalen Methode und auf Grund der abgeleiteten Formeln, bestimmt man die Uebertragungskoeffizienten K und η der Wärme, mit deren Hilfe dann die Erwärmung der Sicherungen berechnet wird.

DK 621.791.753.015.53 :621.79

Nichici, Al.: **Neue Gesichtspunkte bzgl. des Einflusses der Schwingungsbewegung des Elektrodes auf die Bearbeitungsvorgänge mit elektrischen Funken.**

Electrotehnica **17**, H. 4, April 1969, S. 143–149

Es werden die Versuchsresultate gezeigt, die zwecks Bestimmung des Einflusses der Eigen — und der erzwungenen Schwingungen des Elektrodes auf die Grunvorgänge der Bearbeitung.

Die erhaltenen Resultate vergleicht man darauf mit den Erzeugungsvorgängen der elektrischen Stromstösse, der Ausstossung der Erosionsstoffe und der Stabilität der Bearbeitung.

Hervorgehoben werden dann die Möglichkeiten zur Bearbeitungsverbesserung im Abhängigkeit von der Amplitude der erzwungenen Schwingungen.

FÜR DEN JUNGEN INGENIEUR

DK 621.3.042.1 :621.318.23

Cupşa, A. und *Boghiu Corina*: **Die Berechnung gewisser magnetischen Kreise mit Dauermagneten und verteilter Streuung.**

Electrotehnica **17**, H. 4, April 1969, S. 149–159

Es werden zwei Berechnungsmethoden für die Kreise der Dauermagneten entwickelt: eine analytische — welche annimmt dass der Strenfluss gleichmässig verteilt ist und für relativ komplizierte aber ungesättigte Kreise angewendet wird — und eine graphische — welche betrachtet dass der Streufluss in einer endlichen Anzahl von Räumen verteilt ist — und welche aber nur bei Kreisen verwendebar ist, die aus Prismenstäben bestehen. Diese letzte Methode ist für jeden Sättigungsgrad gültig. Gleichzeitig gibt man ziffermässige Anwendungen und Versuchsergebnisse an.

BUCHBESPRECHUNGEN 159
REFERATE 160–161
CHRONIK 162–164

CONTENTS

DC 538.632 :537 :311.33 :621.3.013

De Sabata, I. and *Daba, D.* : **The Hall field of turbulent currents from semiconductor plates placed transversally in a homogenous time varying magnetic field.**

Electrotehnica **17**, nr. 4, aprilie 1969, p. 125–130

The Hall effect of turbulent currents is studied. The equations of the field are established and integrated for particular cases. The theoretical conclusions are checked experimentally.

DC 621.313.1.012.7

Niculescu, D. and *Crăciunescu, A.* : **The utilization of graphs in the presentation of the electric machine unified theory.**

Electrotehnica **17**, nr. 4, aprilie 1969, p. 130–136

It is shown that the oriented graphs can be used as a qualitative topological model of electric machines thus replacing the block and equivalent schemes used to this end. The oriented graph suggested represents a combination of the Mason, Shelly and Bickart graphs.

The notion of „transfer index" of a node is introduced in order to achieve a coherent classification of the oriented graph nodes. The seven structural transformations to which it is possible to reduce all the topological rules for simplifying and transforming Mason graphs are pointed out. The graphs of the electric transformer with two windings and of the isotropic electromechanical rotative converter in motor and generator actions are established. By particularization and juxtaposition it is possible to obtain from the graphs established the graphs of usual electric machines.

DC 621.316.923.017.7.001.25

Barbu, I. : **Considerations concerning the electric and thermic steadystate phenomena associated with the fructioning of fusible cutouts.**

Electrotehnica **17**, nr. 4, aprilie 1969, p. 137–143

The equation of the heating in steady-state operation for the fuses of electric cut-outs is studied and the possible limit conditions are established. The calculus of the solutions for some of the several limit conditions established has been made by taking into account the variation of resistivity with heating. By means of an original method and on the basis of the formulas deduced were determined the heat transmission coefficients K and γ_i by means of which is calculated the fuse heating.

DC 621.791.753.015.53 :621.79

Nichici, Al. : **New aspects concerning the influence of the oscillatory movement of electrodes on the working processes with electric sparks.**

Electrotehnica **17**, nr. 4, aprilie 1969, p. 143–149

The results are given of experimental tests carried out to determine the influence of the self and forced oscillations of electrodes on the basic phenomena of processing.

The dates obtained are connected with the processes relating to generation of the electric current impulses, evacuation of the erosion products and processing stability.

The possibilities of optimizing the working of the material. as a function of the forced oscillation amplitude are emphasised

FOR YOUNGS ENGINEERS

DC 621.3.042.1 :621.318.23

Cupșa, A. and *Boghiu Corina* : **The calculus of some magnetic circuits with permanent magnets and distributed dispersion.**

Electrotehnica **17**, nr. 4, aprilie.1969, p. 149–159

Two methods have been developed for the magnet permanent circuits calculation namely : an analytical one considering the distributed continnous dispersion flux and applicable to relatively complicated but unsaturated circuits and a graphic one considering the dispersion flux distributed in a finished number of intervals, applicable only to circuits made from prismatic bars and valuable in whatever saturation degree. Some numerical applications and experimental checks are also presented.

REVIEWS 159

REPORTS 160–161

CHRONICLE 162–164

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 Nr. 4 București, aprilie 1969

MŰSZAKI KÖNYVTÁR DOKUMENTÁCIÓS OSZTÁLY

Cîmpul Hall al curenților turbionari din plăci semiconductoare plasate transversal în cîmp magnetic omogen și variabil în timp

Ioan De Sabata și Dumitru Daba — Timișoara*

CZ 538.632 : 537.311.33 : 621.3.01

Cîmpul Hall determinat de curenții turbionari a fost puțin studiat în lucrările de specialitate. Avînd în vedere aplicațiile largi ale traductorului Hall, cercetătorii au studiat în principal influența pe care o au curenții turbionari asupra tensiunii Hall a traductoarelor dreptunghiulare. Astfel, în [1] se arată că influența curenților turbionari asupra tensiunii Hall a unui traductor dreptunghiular de lungime infinită este nulă. În [2] și [3] concluzia este generalizată și pentru cazul traductoarelor dreptunghiulare de dimensiuni finite.

În această lucrare se stabilesc ecuațiile cîmpului Hall determinat de curenții induși într-o placă din material semiconductor de tipul n, plasată transversal într-un cîmp magnetic omogen și variabil. Ecuațiile sînt integrate pentru cazuri particulare întîlnite în practică.

Calculele sînt conduse în ipoteza că traductoarele sînt în regim de mers în gol, iar densitatea curentului de deplasare se neglijează în raport cu aceea a curentului de conducție, ipoteză valabilă pînă la frecvențe foarte înalte [4].

1. Ecuațiile cîmpului Hall

Se consideră o placă semiconductoare de grosime h mică, plasată transversal într-un cîmp magnetic variabil, dar omogen, de inducție magnetică B_e (fig. 1).

Fie E_s intensitatea cîmpului electric indus de variația în timp a cîmpului magnetic. Ea este definită în raport cu un sistem de referință legat de rețeaua cristalină a mediului semiconductor.

Conform cu definiția dată în [3], se va numi intensitate a cîmpului Hall expresia:

$$E_H = E - E_s, \tag{1}$$

unde E este intensitatea cîmpului electric rezultant, definită în raport cu același sistem de referință. La scrierea relației (1) s-au presupus neglijabile celelalte efecte galvanomagnetice.

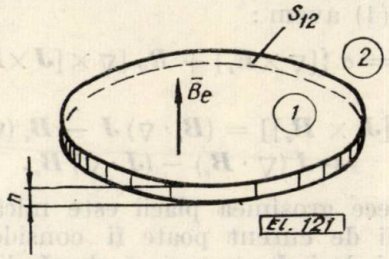


Fig. 1. Placă semiconductoare în cîmp magnetic variabil.

Legea conducției electrice, în ipoteza că se neglijează cîmpul magnetic produs de curenții turbionari din placă în raport cu cîmpul magnetic exterior, se scrie în forma [5]:

$$J = \sigma \{E + R_H [J \times B_e]\}, \tag{2}$$

unde:

J reprezintă vectorul densității curentului electric;

σ — conductivitatea mediului semiconductor;

$R_H = \frac{1}{nq}$ — constanta Hall, n fiind concentrația electronilor, iar q sarcina unui electron.

Neglijînd cîmpul de reacție al curenților turbionari, legea inducției electromagnetice, scrisă în raport cu sistemul de referință menționat, este:

$$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial B_e}{\partial t}. \tag{3}$$

Din (1) și (3) și ținînd seamă de definiția dată lui E_s:

$$\operatorname{rot} E_s = -\frac{\partial B_e}{\partial t}, \tag{4}$$

* Dr. ing. *I. De Sabata* este conferențiar la Institutul politehnic-Timișoara, iar ing. *D. Daba* este asistent la același institut.

rezultă :

$$\text{rot}\, \boldsymbol{E}_H = 0, \qquad (5)$$

adică, în ipoteza făcută, intensitatea cîmpului Hall este eminamente potențială. Ca urmare vectorul $\boldsymbol{E}_H$ poate fi exprimat cu ajutorul unei funcții scalare V_H, numită potențialul cîmpului Hall, determinat de curenții turbionari :

$$\boldsymbol{E}_H = -\nabla V_H . \qquad (5')$$

Aplicînd relației (2) operația de divergență și ținînd seamă de legea conservării sarcinii, $\text{div}\, \boldsymbol{J} = 0$, cum și de $\text{div}\, \boldsymbol{E}_s = 0$, se poate scrie :

$$(\nabla \cdot \sigma \boldsymbol{E}_H) = -(\nabla \cdot R_H \sigma [\boldsymbol{J} \times \boldsymbol{B}_e]). \qquad (6)$$

Pe de altă parte

$$(\nabla \cdot R_H \sigma [\boldsymbol{J} \times \boldsymbol{B}_e]) = R_H \sigma (\boldsymbol{B}_e \cdot [\nabla \times \boldsymbol{J}]),$$

deoarece mărimile R_H și σ au fost presupuse constante, adică mediul semiconductor omogen, iar $\text{rot}\, \boldsymbol{B}_e = 0$, cîmpul exterior fiind și el presupus omogen.

Rotorul densității de curent se obține tot din (2). Cu (4) avem :

$$[\nabla \times \boldsymbol{J}] = \sigma \{[\nabla \times \boldsymbol{E}_s] + R_H [\nabla \times [\boldsymbol{J} \times \boldsymbol{B}_e]]\}, \qquad (7)$$

unde :

$$[\nabla \times [\boldsymbol{J} \times \boldsymbol{B}_e]] = (\boldsymbol{B}_e \cdot \nabla) \boldsymbol{J} - \boldsymbol{B}_e (\nabla \cdot \boldsymbol{J}) + \boldsymbol{J} (\nabla \cdot \boldsymbol{B}_e) - (\boldsymbol{J} \cdot \nabla) \boldsymbol{B}_e .$$

Deoarece grosimea plăcii este mică, cîmpul densității de curent poate fi considerat plan paralel și deci $\boldsymbol{J}$ nu variază după direcția lui $\boldsymbol{B}_e$: $(\boldsymbol{B}_e \cdot \nabla) \boldsymbol{J} = 0$.

Cîmpul $\boldsymbol{B}_e$ fiind uniform : $(\boldsymbol{J} \cdot \nabla) \boldsymbol{B}_e = 0$, iar din legea fluxului magnetic : $(\nabla \cdot \boldsymbol{B}_e) = 0$.

Cu acestea rezultă din (7) :

$$[\nabla \times \boldsymbol{J}] = -\sigma \frac{\partial \boldsymbol{B}_e}{\partial t}, \qquad (8)$$

relație ce subliniază caracterul solenoidal al cîmpului densității de curent.

Din (6) și (8) rezultă, în ipotezele menționate :

$$(\nabla \cdot \boldsymbol{E}_H) = R_H \sigma \boldsymbol{B}_e \frac{\partial \boldsymbol{B}_e}{\partial t} . \qquad (9)$$

Deoarece $R_H \sigma = \mu_n$ reprezintă factorul de mobilitate al materialului, egalitatea (9) se scrie în forma finală :

$$(\nabla \cdot \boldsymbol{E}_H) = \mu_n \boldsymbol{B}_e \frac{\partial \boldsymbol{B}_e}{\partial t} . \qquad (9')$$

Așadar intensitatea cîmpului Hall este eminamente potențială, dar de divergență diferită de zero.

Cu (5') și (9') rezultă pentru potențialul V_H următoarea ecuație, de tip Poisson :

$$-\nabla^2 V_H = \mu_n \boldsymbol{B}_e \cdot \frac{\partial \boldsymbol{B}_e}{\partial t} . \qquad (10)$$

Pentru a determina soluția acestei ecuații, trebuie stabilite condițiile de frontieră pentru V_H. În acest scop se ține seamă de faptul că suprafața de separație semiconductor-aer, S_{12} din figura 1, este o suprafață de cîmp pentru vectorii $\boldsymbol{J}$ și $\boldsymbol{E}_s$ și că cei doi vectori satisfac ecuațiile :

$$\text{div}\, \boldsymbol{J} = 0 ; \qquad \text{div}\, \boldsymbol{E}_s = 0 ;$$

$$\text{rot}\, \boldsymbol{J} = -\sigma \frac{\partial \boldsymbol{B}_e}{\partial t} , \quad \text{respectiv} \quad \text{rot}\, \boldsymbol{E}_s = -\frac{\partial \boldsymbol{B}_e}{\partial t} .$$

Deoarece vectorii $\boldsymbol{J}/\sigma$ și $\boldsymbol{E}_s$ satisfac ecuații și condiții de frontieră identice, rezultă că ei sînt egali : $\boldsymbol{J}/\sigma = \boldsymbol{E}_s$ și prin urmare din legea conducției (2) se poate scrie :

$$\boldsymbol{E}_H = -R_H [\boldsymbol{J} \times \boldsymbol{B}_e]. \qquad (11)$$

Ultima condiție arată că vectorii $\boldsymbol{E}_H$ și $\boldsymbol{J}$ sînt ortogonali, adică suprafețele de cîmp ale lui $\boldsymbol{J}$ sînt suprafețe echipotențiale pentru potențialul cîmpului Hall V_H.

Prin urmare, suprafața de separație S_{12} este o suprafață echipotențială pentru V_H.

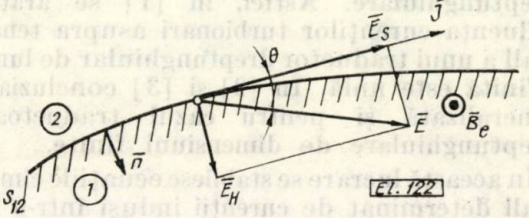


Fig. 2. Vectorii cîmpului în suprafața S_{12}.

În figura 2 s-a desenat o porțiune din suprafața S_{12} și într-un punct pe ea, vectorii $\boldsymbol{E}_s$, $\boldsymbol{J}$, $\boldsymbol{E}_H$ și $\boldsymbol{E}$.

Vectorul densității de curent $\boldsymbol{J}$ formează pretutindeni cu vectorul $\boldsymbol{E}$ unghiul Hall θ, dat de relația [1] :

$$\text{tg}\, \theta = -\mu_n B_e \qquad (12)$$

Din triunghiul dreptunghic format de vectorii intensităților de cîmp, rezultă condiția de frontieră pe care o satisface potențialul scalar V_H :

$$-\frac{\partial V_H}{\partial l_n} = E_s \,\text{tg}\, \theta, \qquad (13)$$

unde $\frac{\partial V_H}{\partial l_n}$ este derivata de direcție a funcției potențiale după normala orientată spre mediul semiconductor.

Așadar, potențialul scalar V_H este acea soluție a ecuației (10), care satisface condiția de frontieră (13).

Problema fiind de tip Neumann interioară, soluția ei este univocă.

Concluzia care rezultă direct din teoria prezentată este aceea că prezența curenților turbionari din sondele Hall de formă oarecare nu

modifică tensiunea Hall, dacă aducerea curentului de comandă se face prin contacte punctiforme.

În adevăr, în ipoteza unor contacte de curent punctiforme, suprafața S_{12} (fig. 1) rămîne echipotențială pentru potențialul cîmpului Hall determinat de curenții turbionari.

Această proprietate a fost demonstrată în [3] pentru cazul particular al sondelor de formă dreptunghiulară.

Teorema rămîne valabilă și în cazul sondelor de formă oarecare cu contacte de curent pline,

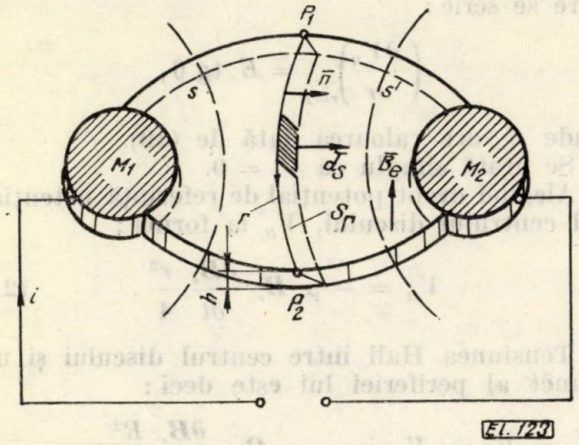


Fig. 3. Traductor Hall cu contacte de curent pline.

pentru acea regiune a suprafețelor de separație semiconductor-aer, unde efectul de scurtcircuitare al electrozilor nu se manifestă.

În figura 3 s-a desenat un traductor Hall cu contactele de curent M_1 și M_2 pline.

Se presupune că în regiunea încadrată de suprafețele S și S', desenate punctat în figură, efectul de scurtcircuitare al electrozilor este nul.

În aceste condiții, în regiunea menționată, intensitatea cîmpului Hall al curenților turbionari este dată de relația (11).

Se demonstrează în cele ce urmează că tensiunea Hall a acestui cîmp între punctele oarecare P_1 și P_2 este nulă.

Integrala lui $\boldsymbol{E}_H$ se va efectua de-a lungul curbei Γ, în sensul indicat pe figură:

$$U_H = \int_{P_1(\Gamma)}^{P_2} (\boldsymbol{E}_H \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l}) = -R_H \int_{P_1(\Gamma)}^{P_2} ([\boldsymbol{J} \times \boldsymbol{B}_e] \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l}) =$$

$$= -R_H \int_{P_1(\Gamma)}^{P_2} ([\boldsymbol{B}_e \times \mathrm{d}\boldsymbol{l}] \cdot \boldsymbol{J}) = -$$

$$= -R_H \int_{P_1(\Gamma)}^{P_2} B_e \, \mathrm{d}l \, (\boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{J}),$$

unde $\boldsymbol{n}$ este vectorul unitar al produsului vectorial $[\boldsymbol{B}_e \times \mathrm{d}\boldsymbol{l}]$.

Deoarece:

$$\boldsymbol{n}\,\mathrm{d}l = \boldsymbol{n} \cdot \mathrm{d}l \cdot h \frac{1}{h} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{s}}{h},$$

unde $\mathrm{d}\boldsymbol{s}$ este vectorul element de suprafață al secțiunii transversale S_Γ prin sondă, ultima expresie a lui U_H se poate pune în forma:

$$U_H = -R_H \frac{1}{h} B_e \int_{S_\Gamma} (\boldsymbol{J} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s}) = 0,$$

fiindcă $i_s = \int_{S_\Gamma} (\boldsymbol{J} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s}) = 0$ reprezintă curentul turbionar prin secțiunea S_Γ.

Pentru cazul particular al traductorului dreptunghiular, proprietatea a fost demonstrată în [3].

2. Traductoare de forme particulare

2.1. Traductor dreptunghiular de lungime infinită. În figura 4 s-a desenat o sondă dreptunghiulară de lungime infinită, plasată transversal într-un cîmp magnetic exterior variabil, dar omogen.

S-au desenat, de asemenea, vectorii $\boldsymbol{E}_s$, $\boldsymbol{E}_H$ și $\boldsymbol{E}$, în ipoteza că $\boldsymbol{B}_e$ crește în timp.

Liniile cîmpului $\boldsymbol{E}_s$, din motive de simetrie, sînt drepte paralele cu axa ox.

Neglijînd cîmpul magnetic de reacție al curenților turbionari, legea inducției electromagnetice aplicată conturului dreptunghiular desenat punctat în figură, ne dă:

$$E_s = y \frac{\partial B_e}{\partial t},$$

sau vectorial:

$$\boldsymbol{E}_s = y \frac{\partial B_e}{\partial t} i. \qquad (14)$$

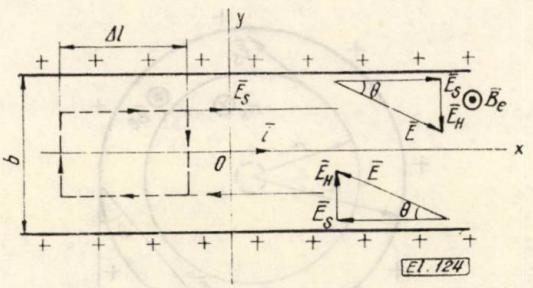


Fig. 4. Placă dreptunghiulară infinită în cîmp magnetic variabil.

Funcția potențială scalară V_H este acea soluție a ecuației (10), care satisface pe suprafețele $y = \pm \frac{b}{2}$ condiția:

$$\frac{\partial V_H}{\partial y} = E_s \operatorname{tg} \theta. \qquad (15)$$

Din motive de simetrie V_H este funcție numai de variabila y și deci ecuația lui Poisson devine:

$$-\frac{\partial^2 V_H}{\partial y^2} = \mu_n \boldsymbol{B}_e \cdot \frac{\partial \boldsymbol{B}_e}{\partial t}.$$

Soluţia ei este :

$$V_H = -\mu_n B_e \cdot \frac{\partial B_e}{\partial t} \frac{y^2}{2} - C_1 y + C_2. \quad (16)$$

Constanta C_1 se determină din condiţia (15) şi are valoarea :

$$C_1 = -\mu_n B_e \cdot \frac{\partial B_e}{\partial t} \frac{b}{2} - E_S \operatorname{tg} \theta.$$

Constanta C_2 este nulă dacă se alege drept potenţial de referinţă potenţialul pe $y = 0$.

Se obţine în final :

$$V_H = \operatorname{tg} \theta \frac{\partial B_e}{\partial t} \frac{y^2}{2}. \quad (17)$$

Tensiunea Hall între punctele situate pe $y = \frac{b}{2}$ şi $y = 0$, este :

$$U_H = \operatorname{tg} \theta \frac{b^2}{8} \frac{\partial B_e}{\partial t} = -\mu_n \frac{b^2}{16} \frac{\partial B_e^2}{\partial t}. \quad (18)$$

Aşadar, această tensiune este proporţională cu derivata pătratului inducţiei magnetice exterioare, factorul de proporţionalitate fiind o constantă în ipoteza că mobilitatea materialului semiconductor nu depinde de această inducţie.

2.2. Traductor de formă circulară. În figura 5 s-a reprezentat o sondă de formă circulară, plasată transversal într-un cîmp magnetic omogen, dar variabil.

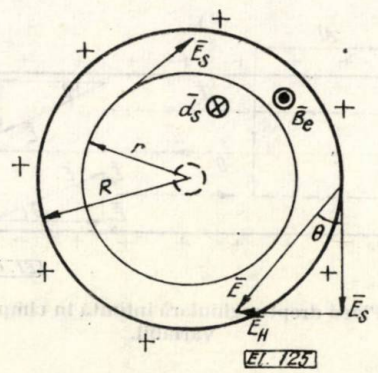


Fig. 5. Placă circulară în cîmp magnetic variabil.

Din motive de simetrie liniile de cîmp ale intensităţii E_S sînt cercuri concentrice cu centrul în axa sondei.

Neglijînd din nou cîmpul de reacţie al curenţilor turbionari, legea inducţiei electromagnetice aplicată pe un contur circular, ne dă

$$E_S = \frac{r}{2} \frac{\partial B_e}{\partial t}. \quad (19)$$

Deoarece potenţialul V_H depinde numai de distanţa r de la punct la axă, ecuaţia (10) poate fi scrisă în forma :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}\left(r \frac{\partial V_H}{\partial r}\right) = -\mu_n B_e \cdot \frac{\partial B_e}{\partial t}.$$

Ea are soluţia :

$$V_H = -\mu_n B_e \cdot \frac{\partial B_e}{\partial t} \frac{r^2}{4} + C_1 \ln r + C_2. \quad (20)$$

Constanta C_1 se determină din condiţia (13), care se scrie :

$$\left(\frac{\partial V_H}{\partial r}\right)_{r=R} = E_S \operatorname{tg} \theta,$$

unde E_S are valoarea dată de (19).

Se arată simplu că $C_1 = 0$.

Alegînd drept potenţial de referinţă potenţialul centrului discului, V_H ia forma :

$$V_H = -\mu_n B_e \cdot \frac{\partial B_e}{\partial t} \frac{r^2}{4}. \quad (21)$$

Tensiunea Hall între centrul discului şi un punct al periferiei lui este deci :

$$U_H = V_{H_R} - V_{H_0} = -\mu_n B_e \cdot \frac{\partial B_e}{\partial t} \frac{R^2}{4} = -\mu_n \frac{R^2}{8} \frac{\partial B_e^2}{\partial t}, \quad (22)$$

expresie care se aseamănă cu (18).

3. Verificări experimentale

La determinările experimentale s-a folosit o sondă de formă circulară, avînd raza $R = 5$ mm, confecţionată din In — Sb, material semiconductor de provenienţă indigenă.

Sonda a fost plasată transversal în cîmpul din întrefierul unui circuit magnetic alimentat cu o tensiune sinusoidală, de frecvenţă industrială (50 Hz). Deci inducţia magnetică B_e se scrie :

$$B_e = B_{em} \cos \omega t,$$

şi tensiunea Hall dată de (22) devine :

$$U_H = \mu_n \frac{R^2}{4} \omega B_{em}^2 \sin \omega t \cos \omega t = U_{Hm} \sin 2 \omega t,$$

unde U_{Hm} este amplitudinea tensiunii Hall :

$$U_{Hm} = \mu_n \frac{R^2}{8} \omega B_{em}^2.$$

Deci, tensiunea Hall obţine tot o variaţie sinusoidală, dar cu dublul frecvenţei inducţiei.

În figura 6 se prezintă imaginea oscilografiată a tensiunii instantanee Hall, împreună cu cea a

unei tensiuni de referință de 50 Hz. Ea verifică concluzia menționată.

În cazul unui material semiconductor avînd factorul de mobilitate $\mu_n = -6{,}3$ m²/Vs, plasat

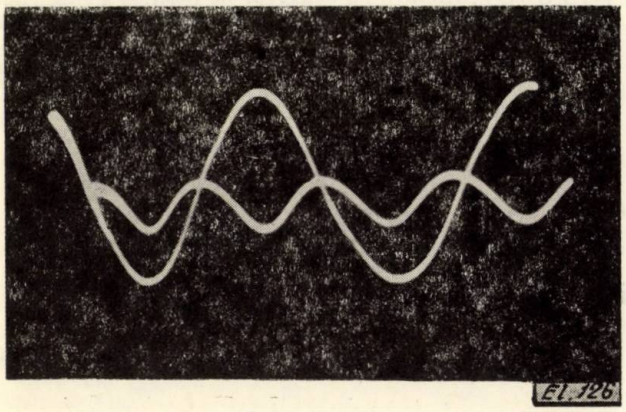


Fig. 6. Referitor la tensiunea $u_H = U_{Hm} \sin 2\omega t$.

într-un cîmp magnetic de amplitudine $B_{em} = 1$T, la dimensiunile amintite ale sondei și frecvență $f = 50$ Hz, tensiunea Hall obținută ar avea amplitudinea $U_{Hm} = 6 \cdot 10^{-3}$ V.

Întrucît ordinul de mărime al tensiunii Hall este mic, este necesar să se asigure pe cît posibil înlăturarea tensiunii induse în circuitul de măsură.

S-a creat apoi în întrefier un cîmp magnetic variabil prin conectarea circuitului magnetic la o tensiune de borne constantă.

Deci inducția a variat de la zero la B_e=const.

Pentru măsurare s-a folosit un galvanometru balistic (fig. 7).

Aplicînd legea inducției electromagnetice pe conturul Γ, format de circuitul de măsurare și

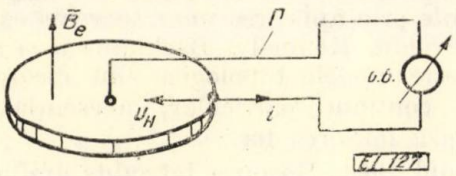


Fig. 7. Schemă folosită în măsurări.

curba tensiunii U_H și alegînd sensul de integrare în sensul curentului i, se obține:

$$-L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = ir - U_H,$$

unde:

L este inductivitatea conturului Γ;
r — rezistența electrică a circuitului de măsurare atașat sondei.

Curba tensiunii U_H este definită ca fiind tangentă în fiecare punct la vectorul cîmp $\boldsymbol{E}_H$. Ea diferă puțin de direcția radială datorită perturbării locale a cîmpului prin prezența curentului i, foarte mic.

Sau, cu U_H, care se mai scrie și în forma:

$$U_H = -\mu_n \frac{R^2}{8}\frac{\partial B_e^2}{\partial t} = k\frac{\partial B_e^2}{\partial t},$$

avem:

$$k\frac{\partial B_e^2}{\partial t} = ir + L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}.$$

Înmulțind ecuația cu $\mathrm{d}t$ și integrînd între zero și t, durata regimului variabil:

$$k B_e^2 = r k_g \alpha_g,$$

unde:

k_g este constanta balisticului,
α_g — prima sa deviație.

Rezultă deci că:

$$\alpha_g = \frac{k}{r k_g} B_e^2 = k' B_e^2,$$

adică o dependență pătratică.

Rezultatele experimentale obținute cu aceeași sondă sînt reprezentate în figura 8.

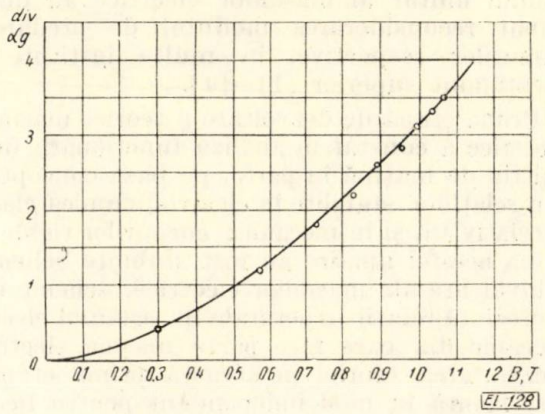


Fig. 8. Dependența $\alpha_g = f(B_e^2)$.

Metoda poate fi deci folosită și pentru măsurarea unei inducții invariabile în raport cu timpul, B_e = const.

Expresia tensiunii Hall arată că ea mai poate servi la măsurarea derivatei în raport cu timpul a unei mărimi ce se face proporțională cu B_e^2.

4. Concluzii

Din considerentele anterioare rezultă că prezența curenților turbionari în placa semiconductoare determină un efect Hall care poate fi determinat pe cale experimentală dacă se aleg convenabil electrozii Hall.

Pentru traductoarele Hall folosite curent în măsurări această tensiune este nulă.

La anumite poziții ale electrozilor Hall, tensiunea Hall determinată de curenții turbionari este proporțională cu produsul dintre

inducția magnetică și derivata ei în raport cu timpul.

Această tensiune fiind de ordinul 10^{-3} V, poate fi folosită în unele aplicații din tehnica măsurărilor și automatizărilor.

Bibliografie

[1] *Hartel, W.* Propriétés et applications du générateur. Hall. In: A.I.M., tom **74**, nr. 1, 1961, p. 11—52.

[2] *De Sabata, I.* Influența curenților turbionari asupra comportării generatorului Hall. In: Bul. științific și tehnic al I.P.T., 9, iulie — decembrie 1964, p. 491—502.

[3] *De Sabata, I.* Cîmpul electric din traductoare Hall plasate în cîmpuri magnetice variabile. In: Electrotehnica **15**, nr. 1, 1967, p. 33—40.

[4] *Perrot, F.* Étude d'un détecteur de position à effet Hall. Thèse présentée à la Faculté de Sciences. Paris, 1964, p. 7 (litografiat).

[5] *Godefray, L.* și *Tavernier, J.* Effets magnétoélectriques et thermoélectriques dans les semi-conducteurs. In: Journal de Physique, tom. **21**, aprilie 1960, p. 249.

Intrat în redacție la 6.XI.1968

Folosirea grafurilor la prezentarea unitară a teoriei mașinilor electrice

CZ 621.313.1.012.7

Dumitru Niculescu și **Aurelian Crăciunescu*** — București

Teoria mașinilor electrice s-a dezvoltat în două etape, care se deosebesc una față de alta prin caracterul logic al lor: un caracter inductiv pentru etapa inițială și un caracter deductiv pentru cea actuală. Progresele realizate în studiul unitar al mașinilor electrice au determinat reconsiderarea modului de predare a cursurilor respective, în multe institute de învățămînt superior [1]—[4].

Prima etapă de dezvoltare a teoriei mașinilor electrice a constat în analiza funcționării fiecărui tip de mașină în parte, pe baza conceptelor și a relațiilor stabilite în electrodinamica clasică nerelativistă și în mecanica corpurilor rigide. În urma acestei analize au fost stabilite schemele echivalente ale mașinilor electrice, scheme care reprezintă relații structurale în sistemul electromecanic din care face parte mașina electrică. Dezvoltarea teoriei în această primă etapă a fost făcută în mod independent pentru fiecare tip de mașină electrică, prin metode diferite (de exemplu metoda cîmpurilor învîrtitoare pentru mașinile asincrone, metoda celor două axe pentru mașinile sincrone).

A doua etapă, aceea a prezentării unitare, a fost dezvoltată în două direcții, fiecare direcție corespunzînd unei anumite cerințe. Inginerul de exploatare, care utilizează mașina electrică, are nevoie de o teorie în care mașina să fie caracterizată printr-un număr finit de parametri ușor măsurabili; inginerul constructor de mașini electrice are nevoie de o teorie care să-i permită determinarea solicitărilor materialelor în scopul dimensionării pieselor componente. Prima direcție s-a dezvoltat pe baza teoriei circuitelor, iar cea de-a doua pe baza teoriei cîmpului electromagnetic. O contribuție fundamentală în elaborarea etapei unitare de tratare a teoriei mașinilor electrice, pe baza teoriei circuitelor, a fost adusă de către Gabriel Kron.

Informațiile necesare înțelegerii comportării unei mașini electrice sînt conținute în întregime de sistemul de ecuații care descriu funcționarea acesteia; această formă de prezentare are însă dezavantajul de a nu evidenția structura mașinii electrice considerată ca sistem electromecanic. Se știe că relațiile calitative dintre mărimile unui sistem se pot ilustra cu ajutorul schemelor echivalente și al schemelor-bloc, care constituie un model topologic calitativ al acestor ecuații, iar raporturile cantitative se ilustrează cu ajutorul diagramelor fazoriale. Modelele topologice calitative sînt folosite în prezentarea teoriei unui sistem electromecanic, datorită capacității lor de sugerare a efectuării anumitor simplificări în calcule prin aplicarea unor teoreme ca cea a lui Thévenin, Kennelly, Barkhausen și altele; dar aceste modele topologice sînt încărcate și cu un conținut particular, neesențial, care îngreuiază folosirea lor.

În anul 1953, Mason a introdus grafurile de transfer ca model topologic calitativ al sistemelor de ecuații algebrice liniare. Metoda grafurilor de transfer a fost elaborată prin generalizarea metodei schemelor-bloc și a metodei schemelor echivalente, eliminîndu-se tot conținutul lor particular. Inițial, grafurile de transfer au fost utilizate numai la studiul circuitelor electronice, însă apoi s-a făcut repede extinderea la studiul sistemelor electromecanice, datorită avantajelor pe care le prezintă acest model topologic: a) prezentarea grafică unitară a elementelor sistemelor electromecanice; b) posibilitatea stabilirii imediate a schemei de programare pe calculator; c) — determinarea funcțiunii de transfer, direct din graf, prin simpla inspecție a acestuia (regula lui Mason sau regula lui Coates).

* Ing. *D. Niculescu* este conferențiar la Institutul politehnic-București, iar ing. *A. Crăciunescu* este asistent la același institut.

S-au propus în literatura de specialitate mai multe tipuri de grafuri orientate:

— grafurile de transfer, de către Mason [6]—[10], [16], [17];

— grafurile cu noduri logice, de către Shelly [12], [18];

grafurile de transfer cu noduri Coates [13], [14], [20];

— grafurile cu transferanțe neliniare, de către Bickart [15];

— grafurile bidirecționale, de către Robichaud [17];

— grafurile de programare, de către MacFarlane [26].

În studiul mașinilor electrice, în literatură se întîlnesc exemple de aplicare a grafurilor de transfer de tip Mason [16], [17] și de tip Bickart [24], [25]. În această lucrare se propune o nouă formă de expunere unitară a teoriei mașinilor electrice rotative, în care se folosește ca model topologic calitativ un graf de transfer ce reprezintă o combinație între grafurile Mason, Shelly și Bickart.

1. Conceptele teoriei grafurilor de transfer

Cuplul alcătuit de mulțimea X și aplicația T a mulțimii X în X se numește graf și se notează cu $G = (X, T)$. Cînd elementele mulțimii X pot fi reprezentate prin punctele unui plan, iar între mărimile x_i și x_f asociate punctelor i și respectiv f există relația $x_f \in T\,x_i$, cele două puncte se pot uni cu o linie orientată de la i spre f, numită arc. Fiecărui arc îi este asociat cîte un operator t_{if} numit transferanța arcului. Punctele asociate elementelor mulțimii X sînt numite noduri. O rețea formată din arce și noduri, elementul component fundamental fiind constituit dintr-un arc și nodurile sale terminale, se numește graf de transfer.

În raport cu un anumit nod, un arc este numit arc incident cînd este orientat către acel nod și este numit arc emergent, în caz contrar. Două arce care au aceleași noduri terminale se numesc arce paralele.

Nodurile asociate mărimilor independente se numesc noduri sursă. Există două categorii de noduri asociate mărimilor dependente: noduri sumă (Σ) și noduri produs (π). Valoarea mărimii asociate unui nod Σ se determină însumînd produsele dintre transferanțele arcelor incidente în acel nod și valorile mărimilor asociate nodurilor inițiale corespunzătoare. Valoarea mărimii asociate unui nod π se determină înmulțind produsele dintre transferanțele arcelor incidente în acel nod și valorile mărimilor asociate nodurilor inițiale corespunzătoare. Prezența arcelor emergente nu influențează valoarea mărimii asociate unui nod de tip Σ sau π.

Se va introduce noțiunea de indice de transfer al unui nod — ceea ce va permite realizarea unei clasificări coerente și complete a nodurilor. Un nod are indicele de transfer calitativ $[R, S]$ dacă cuprinde R arce incidente de transferanțe cu dimensiuni fizice diferite și S arce emergente similar definite. În raport cu o anumită dimensiune fizică α, se definește indicele de transfer cantitativ (r_α, s_α) al unui nod prin numărul de arce incidente cu transferanțe de dimensiune α și prin numărul de arce emergente cu transferanțe izodimensionale. Indicele de transfer general se notează cu $\{\mathfrak{R}, \mathfrak{S}\}$ și se definește prin relațiile:

$$\mathfrak{R} = \sum_{\alpha=i}^{R} \sum_{i=1}^{n_\alpha} r_{\alpha i}; \qquad \mathfrak{S} = \sum_{\alpha=1}^{S} \sum_{i=1}^{n_\alpha} s_{\alpha i}.$$

Nodurile la care elementele indicelui de transfer general $\{\mathfrak{R}, \mathfrak{S}\}$ sînt diferite de zero ($\mathfrak{R} \neq 0$, $\mathfrak{S} \neq 0$) se numesc noduri interioare. Nodul interior la care $\mathfrak{R} = 1$ iar $\mathfrak{S} \geqslant 2$ se numește nod colector, iar nodul interior la care $\mathfrak{S} = 1$, $\mathfrak{R} \geqslant 2$ se numește nod distribuitor. Nodul pentru care $\mathfrak{R} = 0$ se numește nod sursă, iar nodul pentru care $\mathfrak{S} = 0$ se numește nod receptor; aceste două noduri se mai numesc și noduri terminale. Un nod sursă și un nod receptor de aceeași valoare asociată formează împreună o pereche de noduri complementare de ordin zero. Un nod colector și un nod distribuitor de aceeași valoare asociată formează împreună o pereche de noduri complementare de ordinul întîi, dacă transferanțele arcelor singulare respective sînt adimensionale și de valoare unitară.

În figura 1 se prezintă modul de simbolizare a nodurilor

O succesiune de arce parcurse în sensul indicat pe ele constituie o cale; dacă un același arc este parcurs o singură dată, calea se numește simplă, iar dacă un același nod este conținut o singură dată, calea se numește deschisă. O cale

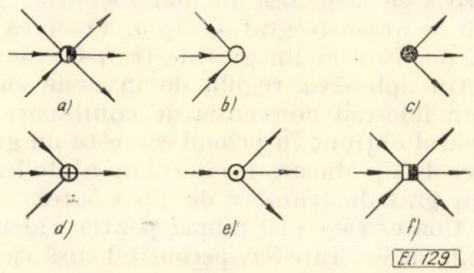


Fig. 1. Simbolurile nodurilor:
a — nod interior de tip Σ; b — nod receptor; c — nod sursă; d — nod colector; e — nod distribuitor; f — nod interior de tip π.

al cărui nod inițial coincide cu nodul final și are un număr finit de arce se numește cale închisă sau circuit; un circuit este elementar dacă are toate nodurile distincte cu excepția celor terminale care coincid. Un circuit cu un singur arc se numește buclă.

Transferanța unei căi se definește prin produsul transferanțelor arcelor componente. Trans-

feranța în buclă a unui nod este transferanța căii deschise obținute prin despicarea acelui nod în noduri terminale. Transferanța în buclă a unui arc este transferanța în buclă a nodului de tranzit (nodul de indice general {1, 1}) introdus pe arcul respectiv).

Ordinul ciclic al unui graf de transfer este determinat de numărul său de noduri interioare ce trebuie să fie despicate în perechi de noduri terminale pentru a deschide toate circuitele acelui graf. Alegerea nodurilor ciclice (a nodurilor ce trebuie despicate) este arbitrară, însă numărul lor este bine determinat pentru un graf dat. Un graf de transfer care conține numai noduri ciclice și noduri terminale se numește graf ciclic. Graful ciclic de ordin ciclic nul se numește graf rezidual.

2. Stabilirea unui graf orientat

Există patru procedee de stabilire a unui graf orientat pentru un sistem fizic care satisface condițiile de izomorfism ale lui Trent * (condiții satisfăcute de către sistemele electromecanice):

— procedeul algebric direct: ecuația i a sistemului algebric asociat sistemului fizic se aduce la forma:

$$x_i = f(x_j)\ (j = 1, 2, \ldots, n;\ j \neq i)$$

apoi se construiește graful ecuației asociind mărimii x_i un nod receptor, iar celorlalte mărimi x_j cîte un nod sursă. Graful sistemului de ecuații se obține din cele i subgrafuri ale ecuațiilor folosind regula de combinare a nodurilor terminale;

— procedeul nodului nul [20]: toți termenii ecuațiilor algebrice se trec în primul membru, variabilelor x_i li se asociază noduri sursă, iar lui zero i se asociază un nod receptor, graful obținut se numește graf de tip 0. Trecerea de la gradul de tip 0 la un graf de transfer se poate face prin aplicarea regulii de inversie cu arce fixe sau folosind convenția de combinare Coates; graful obținut în primul caz este un graf de transfer de tip Mason, iar în cel de-al doilea caz, este un graf de transfer de tip Coates. Graful de tip Coates este util numai pentru calcularea funcțiunilor de transfer, permițînd însă ca acest lucru să se efectueze mult mai rapid decît prin orice alt procedeu inclusiv cu regula lui Mason;

— procedeul topologic Robichaud [17]: graful orientat este stabilit direct din schema de principiu a sistemului fizic fără a fi nevoie să se scrie sistemul de ecuații algebrice asociat, folosind anumite reguli de izomorfism;

— procedeul topologic Mac Farlane [24] este cel mai rapid procedeu de modelare a unui sistem fizic pe un calculator analogic. Graful de programare de tip Mac Farlane se obține direct din schema de principiu a sistemului fizic cu ajutorul unor convenții de trecere.

3. Transformări structurale

În vederea obținerii funcțiunilor de transfer și a stabilirii schemelor de programare pe calculatoare, se folosesc o mulțime de reguli topologice de simplificare și de transformare a grafurilor de transfer de tip Mason. Am constatat că toate aceste reguli pot fi însă reduse la un număr de numai șapte transformări structurale, și anume:

— regula de absorbție a arcelor paralele, în cele două variante: a) absorbția arcelor omoparalele, b) absorbția arcelor antiparalele;

— regula de absorbție a nodurilor interioare;

— regula de inversie a unei căi al cărui nod inițial este un nod sursă, în cele două variante: a) inversia cu noduri fixe, b) inversia cu arce fixe [17], [21];

— regula de normare a unei transferanțe cu variantele: a) pentru arc incident, b) pentru arc emergent;

— regula de despicare a nodurilor interioare în perechi de noduri complementare (regula generării de perechi) [20];

— regula de combinare a nodurilor terminale [17];

— regula lui Mason de obținere a transferanțelor grafului rezidual.

În tabelele 1 și 2 sînt prezentate primele șase transformări structurale elementare, împreună cu justificările lor algebrice. Regula lui Mason este următoarea:

$$t_{if} = \sum_{k=1}^{m} T_k \frac{\prod_{l=1}^{n_k} (1 - N_{l_k})}{\prod_{l=1}^{n} (1 - N_l)},$$

în care:

t_{if} reprezintă o transferanță a grafului rezidual;

m — numărul căilor directe distincte dintre nodurile terminale i și f;

T_k — transferanța căii directe $k (k \in m)$;

n — numărul de conture neadiacente (fără nod comun);

N_l — transferanța în buclă a nodului ciclic l $(l \in n)$;

n_k — numărul de conture neadiacente între ele și cu calea k;

N_{l_k} — transferanța în buclă a nodului ciclic $l_k (l_k \in n_k)$.

* Trent, H. M. Isomorphismus between oriented linear graphs and lumped physical systems. J. Acoust. Soc. Amer. 27, mai 1955, p. 500–527.

Tabela 1

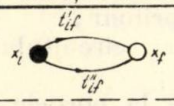
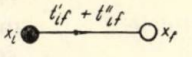
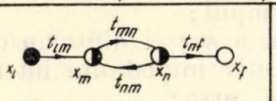
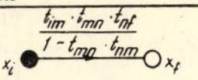
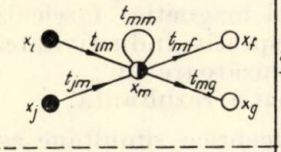
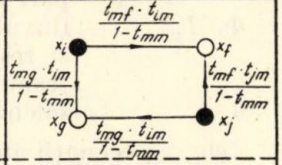
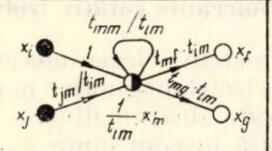
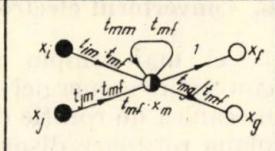
Subgraful inițial	Subgraful rezidual
T-1a absorbția arcelor omoparalele	
	
$x_f = t'_{if}x_i + t''_{if}x_i$	$x_f = (t'_{if} + t''_{if})x_i$
T-1b absorbția arcelor antiparalele	
	
$x_m = t_{im}x_i + t_{nm}x_n$ $x_n = t_{mn}x_m$, $x_f = t_{nf}x_n$	$x_f = \frac{t_{im}\cdot t_{mn}\cdot t_{nf}}{1-t_{mn}\cdot t_{nm}}x_i$
T-2 absorbția unui nod interior de tip Σ	
	
$x_m = t_{mm}x_m + t_{im}x_i + t_{jm}x_j$ $x_f = t_{mf}x_m$ $x_g = t_{mg}x_m$	$x_f = \frac{t_{mf}\cdot t_{im}}{1-t_{mm}}x_i + \frac{t_{mf}\cdot t_{jm}}{1-t_{mm}}x_j$ $x_g = \frac{t_{mg}\cdot t_{im}}{1-t_{mm}}x_i + \frac{t_{mg}\cdot t_{jm}}{1-t_{mm}}x_j$
T-3 normarea transferanței unui arc al nodului x_m	
a) cazul arcului incident	*b) cazul arcului emergent*
	
$\frac{1}{t_{im}}x_m = x_i + \frac{t_{jm}}{t_{im}}x_j + \frac{t_{mm}}{t_{im}}x_m$	$t_{mf}x_m = t_{mj}\ t_{im}\ x_i +$ $+ t_{mf}\cdot t_{jm}\cdot x_j + t_{mj}\cdot t_{mm}\cdot x_m$

Tabela 3

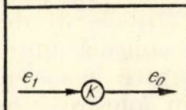
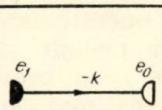
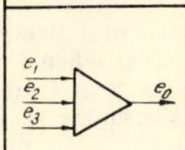
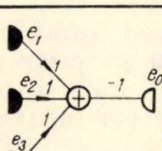
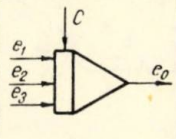
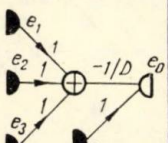
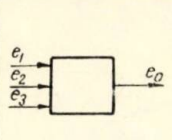
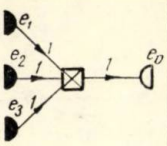
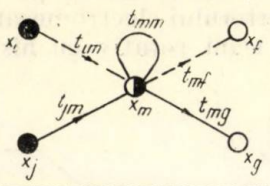
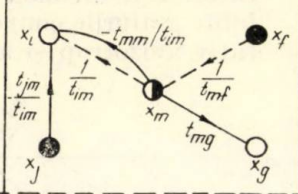
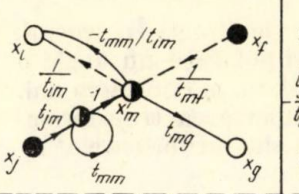
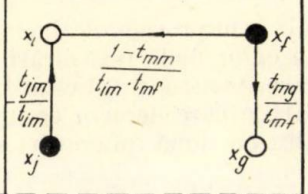
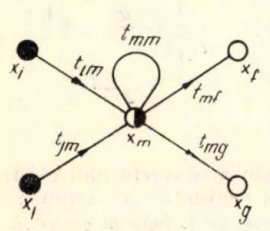
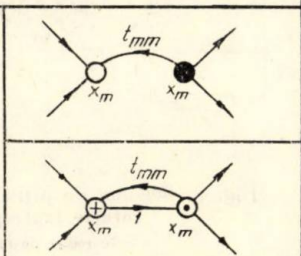
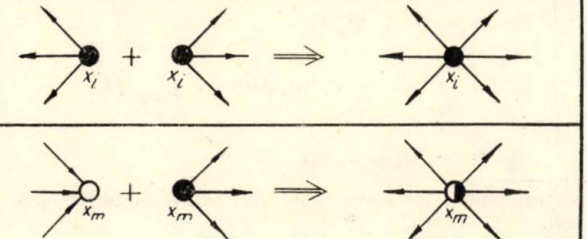
Simbolizarea blocului operațional	Subgraful corespunzător	Relația realizată
1 - multiplicare cu o constantă		
		$e_0 = -ke_1$
2 - însumare		
		$e_0 = -\sum_1^3 e_i$
3 - integrare în timp		
		$e_0 = -\int \sum_i e_i(t)dt + C$
4 - înmulțire		
		$e_0 = \prod_1^3 e_i$

Tabela 2

Subgraf inițial	T-4a inversia cu noduri fixe	T-4b inversia cu arce fixe	Subgraf rezidual
			
$x_m = t_{mm}x_m + t_{im}x_i + t_{jm}x_j$ $x_f = t_{mf}x_m$ $x_g = t_{mg}x_m$	$x_m = \frac{1}{t_{mf}}x_f$ $x_i = \frac{1}{t_{im}}x_m - \frac{t_{mm}}{t_{im}}x_m - \frac{t_{jm}}{t_{im}}x_j$	$x_i = \frac{1}{t_{im}}x'_m - \frac{t_{mm}}{t_{im}}x'_m$ $x'_m = \frac{1}{t_{mf}}x_f - \frac{t_{jm}}{1-t_{mm}}x_j$	$x_i = \frac{1-t_{mm}}{t_{im}\cdot t_{mf}}x_f - \frac{t_{jm}}{t_{im}}x_j$ $x_g = \frac{t_{mg}}{t_{mf}}x_f$
T-5 Despicarea nodurilor interioare		*T-6 Combinarea nodurilor terminale*	
			

4. Modelarea directă

Schema de modelare a unui sistem fizic pe un calculator analogic este formată din patru tipuri de blocuri operaționale (tabela 3) deci graful de transfer trebuie să conțină numai subgrafuri de felul celor prezentate în aceeași tabelă, ceea ce se realizează prin folosirea unor transformări structurale convenabile.

5. Transformatorul electric

Se consideră cazul transformatorului electric monofazat cu două înfășurări a cărui schemă de principiu este prezentată în figura 2 a. Graful de transfer asociat acestui transformator se va

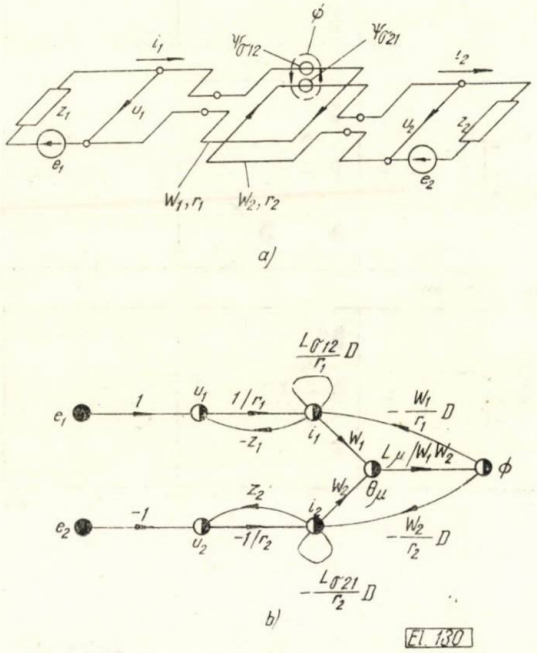


Fig. 2. Transformatorul electric monofazat :
a – schema de principiu cu convențiile de semne : *b* – graful de transfer asociat.

stabili prin procedeul algebric direct. În general, axele celor două înfășurări pot face un unghi θ pe care, pentru simplicitate, se va considera nul. Ecuațiile care descriu comportarea transformatorului cu două înfășurări sînt următoarele* :

$$\begin{cases} u_1 = e_1 - z_1 i_1 ; \\ i_1 = \dfrac{1}{r_1}(u_1 - w_1 D\Phi - L_{\sigma 12} D i_1) ; \\ \Phi = \dfrac{L_\mu}{w_1 w_2}\theta_\mu ; \\ \theta_\mu = w_1 i_1 + w_2 i_2 ; \\ i_2 = \dfrac{1}{r_2}(-u_2 - w_2 D\Phi - L_{\sigma 2i} D i_2) \\ u_2 = -e_2 + z_2 i_2 , \end{cases}$$

* În continuare, toate ecuațiile sînt scrise în forma operațională.

în care :

indicele 1 este afectat mărimilor circuitului electric primar ;
indicele 2 — mărimilor circuitului electric secundar ;
u — tensiunea la bornele unei înfășurări ;
D — operatorul de derivare în raport cu timpul ;
e, z — t.e.m. a sursei dintr-un circuit, respectiv impedanța internă a acelei surse ;
i — curentul dintr-un circuit ;
w, r, L_σ — numărul de spire, rezistența și respectiv inductivitatea de scăpări a unei înfășurări ;
Φ, L_μ — fluxul magnetic fascicular util și respectiv inductivitatea corespunzătoare lui ;
θ_μ — solenația rezultantă.

Cele șase ecuații algebrice simultane asociate transformatorului cu două înfășurări coaxiale, conțin șase variabile dependente : u_1, i_1, u_2, i_2, Φ, θ_μ, două variabile independente : e_1 și e_2 și 12 operatori : r_1, r_2, z_1, z_2, w_1, w_2, $L_{\sigma 12}$, $L_{\sigma 21}$, $L_{\sigma 21}$, L_μ, D, 1, -1. În figura 2 b este prezentat graful de transfer construit pe baza acestor ecuații.

6. Convertorul electromecanic rotativ izotrop

Cel mai simplu sistem electromecanic de convertire a energiei electromagnetice în energia mecanică de rotație este alcătuit dintr-o bobină plană rotitoare dispusă într-un cîmp magnetic, a cărui direcție este variabilă într-un plan perpendicular pe axa de rotație a bobinei (fig. 3). Se va stabili prin procedeul algebric direct grafurile de transfer asociate acestui tip de convertor în regim de motor și în regim de generator. Într-un mod cu totul similar pot fi stabilite grafurile convertorului electromecanic rotativ anizotrop și a celui rotativ cu histerezis.

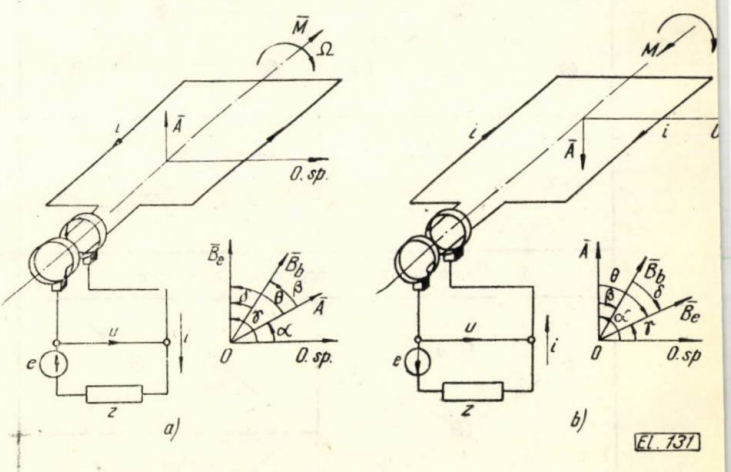


Fig. 3. Schema de principiu a convertorului electromecanic rotativ izotrop, convențiile de semne :
a – în regim de motor ; *b* – în regim de generator.

Regimul de motor. Ecuațiile algebrice care descriu comportarea convertorului electromecanic rotativ izotrop în regim de motor sînt următoarele:

$$\begin{cases} e = E \sin \beta; \\ u = ri + D\psi_t; \\ i = \dfrac{u}{z} - \dfrac{e}{z}; \\ \psi_t = \psi_0 + \psi_e; \\ \psi_0 = Li; \\ \psi_e = wAB \cos \theta \\ M = iwAB \sin \delta; \end{cases} \qquad \begin{cases} \Omega = \dfrac{M}{F + JD} - \dfrac{M_{mec}}{F + JD}; \\ \alpha = \Omega/D; \ \alpha|_{t=0} = 0; \\ \beta = \Omega_b/D; \ \beta|_{t=0} = 0; \\ \gamma = \Omega_e/D; \ \gamma|_{t=0} = \delta(M_{med}); \\ \theta = \gamma - \alpha; \\ \delta = \theta - \beta, \end{cases}$$

în care:

ψ_t, ψ_0, ψ_e reprezintă, respectiv, fluxul magnetic total rezultant, fluxul magnetic total propriu al bobinei și fluxul magnetic total dat de cîmpul magnetic extern $\overline{B}_e$;

L, A — inductivitatea bobinei, respectiv aria sa;

M, M_{med}, M_{mec} — momentul cuplului electromagnetic, valoarea sa medie și, respectiv momentul cuplului mecanic;

F, J — coeficientul de frecare mecanică și, respectiv momentul de inerție al subsistemului mobil;

α, β, γ, δ, θ — unghiuri între fazori, definite în figura 3, în care $\overline{A}$ este vectorul arie al bobinei, iar $\overline{B}_b$ este fazorul cîmpului magnetic produs de bobină;

Ω, Ω_b, Ω_e — viteza unghiulară a subsistemului mobil, viteza unghiulară a direcției cîmpului magnetic propriu față de direcția vectorului arie și respectiv viteza unghiulară a direcției cîmpului magnetic extern față de originea de spațiu aleasă.

Cele 13 ecuații prezentate formează un sistem algebric complet care conține cinci variabile independente: E, B_e, Ω_b, Ω_e, M_{mec}; 12 operatori: r, z, w, A, L, sin, cos, F, J, D, 1, -1 și 13 variabile dependente: e, u, i, ψ_0, ψ_e, ψ_t, α, β, γ, δ, θ, M, Ω. În figura 4 se prezintă graful de transfer asociat formei de mai sus a sistemului de ecuații algebrice.

În cazurile de interes tehnic situația este mai simplă, deoarece unele dintre mărimile independente au valori nule, după cum se poate vedea din definiția structurală a celor trei tipuri posibile de convertoare electromecanice rotative izotrope:

a) motorul asincron ($E = 0$, $\Omega_b = 0$, $B_e = B_1$, $\Omega_e = \Omega_1$, $M_{mec} \neq 0$);

b) motorul sincron excitat în curent continuu ($E = U_2$, $\Omega_b = 0$, $B = B_1$, $\Omega_e = \Omega_1$, $M_r \neq 0$);

c) motorul de curent continuu cu periile în axa neutră ($E = U_2$ sgn $\cdot \sin(\pi - \delta_M - \Omega t)$, $\Omega_b = 0$, $B = B_1$, $\Omega_e = 0$, $M_r \neq 0$.

Regimul de generator. Ecuațiile algebrice care descriu comportarea convertorului electromecanic rotativ izotrop în regim de generator sînt următoarele:

$$\begin{cases} M = M_{mec} - (F + JD)\,\Omega; \\ i = \dfrac{e}{z} - \dfrac{u}{z}; \\ u = D\psi_t - ri; \\ \psi_t = \psi_0 + \psi_r; \\ \psi_0 = Li; \\ \psi_r = -C_{me} D \psi_t; \\ e = E \sin \beta; \\ \delta = \text{arc sin } M \cdot P^{-1}(wAiB_r); \\ B_r = \psi_r \cdot P^{-1}(wA \cos \theta); \\ \Omega_B = D\gamma; \\ \alpha = \Omega/D; \ \alpha|_{t=0} = \pi; \\ \beta = \Omega_b/D; \ \beta|_{t=0} = 0; \\ \gamma = \theta - \alpha; \ \gamma|_{t=0} = \pi - \delta(M_{med}); \\ \theta = \beta + \delta, \end{cases}$$

în care, în afara notațiilor cunoscute, s-a mai folosit: ψ_r — fluxul magnetic total de reacție care străbate bobina; C_{me} — constanta de

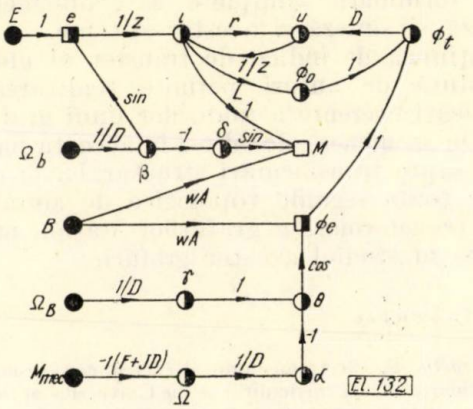


Fig. 4. Graful de transfer al convertorului electromecanic rotativ izotrop în regim de motor.

convertire a energiei magnetice în energie electrică (structura acestei constante depinde de modul în care se livrează energia electromag-

netică : în sistem monofazat sau trifazat) ; P^{-1} — operatorul de ridicare la putere minus unu.

Aceste 14 ecuații conțin patru mărimi independente: E, Ω_b, M_{mec}, Ω ; 14 mărimi dependente :

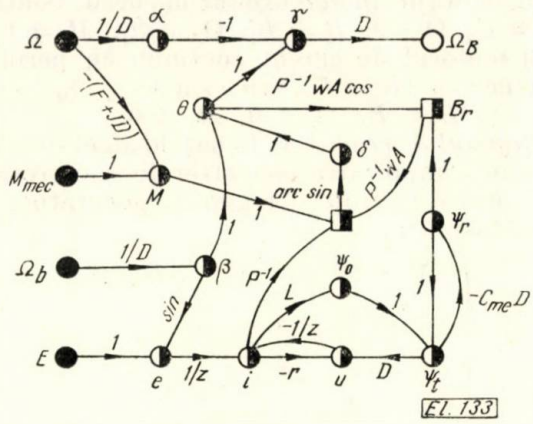


Fig. 5. Graful de transfer al convertorului electromecanic rotativ izotrop în regim de generator.

M, e, u, i, Φ_0, Φ_r, Φ_t, α, β, γ, δ, θ, B, Ω_B și 14 operatori : F, J, z, r, L, w, A, sin, cos, C_{me}, D, P^{-1}, 1, —1. În figura 5 se prezintă graful de transfer corespunzător.

Ca și pentru regimul de motor, în cazurile de interes tehnic situația este mai simplă deoarece unele din mărimile independente au valoare nulă.

7. Concluzii

Din cele expuse în lucrare rezultă că grafurile orientate pot fi folosite ca model topologic calitativ al sistemelor electromecanice, înlocuind în acest fel schemele echivalente și schemele-bloc întrebuințate în acest scop.

Grafurile orientate permit o prezentare unitară și elegantă a teoriei sistemelor electromecanice, deoarece conțin toate informațiile necesare formulării complete a problemelor de analiză și sinteză a acestor sisteme.

Noțiunea de indice de transfer al unui nod introdusă de autori permite realizarea unei clasificări coerente a nodurilor unui graf orientat. De asemenea, stabilirea în această lucrare a celor șapte transformări structurale, la care se reduc toate regulile topologice de simplificare și de transformare a grafurilor Mason, prezintă interes în studiul acestor grafuri.

Bibliografie

[1] *Erdély, E.* Electromechanical energy conversion in the undergraduate curriculum at the University of Delaware. In : Electromechanical Energy Conversion, 1961, Published by the A.I.E.E.

[2] *Koenig, H.* Kirchoff's versus Lagrange's postulates as a basis of system analysis. In : Electromechanical Energy Conversion, 1961, Published by the A.I.E.E.

[3] *Alger, L., Philip* și *Franksen, I.* Ole, Electric machines and system engineering curses. In : Electromechanical Energy Conversion, 1961, Published by the A.I.E.E.

[4] *Higgins, J. Thomas.* A decade of experience in teaching Kron's approach to generalised system theory. In : Electromechanical Energy, 1961, Published by the A.I.E.E.

[5] *König, D.* Theorie der Endlichen und unendlichen Graphen, Akad. Leipzig, Verl. M.H.B., 1936; New York, Chelsea, 1950.

[6] *Mason, S. I.* Feedback Theory-Some properties of Signal-Flow Graphs. In : Proc. IRE **41**, sept, 1953, p. 1 144—1 156.

[7] *Mason, S. I.* Feedback theory-further properties of signal-flow graphs. Proc. IRE **44**, iulie 1956, p. 920—926.

[8] *Mason, S. I.* Topological analysis of linear non-reciprocal notworks. În : Proc. IRE **45**, iunie 1957, p. 829—838.

[9] *Mason, S. I.* și *Zimmermann, H. J.* Electronic circuits, signals and systems. New York, John Wiley & Sons, 1960.

[10] *Truxall, J. G.* Automatic feedback control system synthesis, New York, McGraw-Hill, 1955.

[11] *Berge, C.* Théorie des graphes et ses applications. Paris, Dunod, 1963.

[12] *Shelly, W. A.* A matrix method for the analysis and synthesis of logic circuits, master's thesis. Syracuse. Univ., 1958.

[13] *Coates, C. L.* General topological formulas for linear network functions. În : Trans. IRE, CT—5, martie 1958, p. 30—42.

[14] *Coates, C. L.* Flow graphs solutions of linear algebraic equations. În : Trans. IRE, CT—6, iunie 1959, p. 170—187.

[15] *Bickart, T. A.* Flow graphs for the representation of nonlinear systems. În : Trans. IRE, CT—8, martie 1961.

[16] *Koenig, H. E.* și *Blackwell, W. A.* Electromechanical system theory. New York, McGraw-Hill, 1961 ; Moscova, Energhia, 1965.

[17] *Robichaud, L., Boisvert, M.* și *Robert, J.* Graphes de fluence. Quebec. Presses de l'Université Laval, 1961 ; Moscova, Energhia, 1964.

[18] *Seshu, S.* și *Reed, B. M.* Linear graphes and electrical networks. Massachusetts, Addison-Wesley, 1961.

[19] *Ore, O.* Theory of graphs. În : Amer. math. Soc. Colloquium Publs., vol. **38**, 1962.

[20] *Chow, Y.* și *Cassignol, E.* Théorie et applications des graphes de transfert (trad. din l. engleză). Paris, Dunod, 1965.

[21] *Abrahams, J. R.* și *Coverly, G. P.* Signal flow analysis. Oxford, Pergamon press, 1965; Moscova, Mir, 1967.

[22] *Harary, F., Norman, R.* și *Cartwright, D.* Structural models. New York, John Wiley & Sons, 1965.

[23] *Niculescu, D., Crăciunescu Al.* Sur l'utilisation des graphes dans l'étude des machines électriques. În : Buletinul Institutului politehnic București, tom XXVIII, nr. 3, mai—iunie 1965.

[24] *Sastry, L. B.* și *Sarma, C. K.* Flow graphy theory — 1 : A study of induction motor performance. În : J. Instn. Engrs., India, Electr. Eng. Div., vol. **47**, nr. 12, Pt. El. 6, august 1967, p. 705—714.

[25] *Csàki, F., Magyar, P., Borș, R.* Determination of transfer functions of direct current machines with the aid of signal — flow graphs. În : Acta tech. Acad. scient. hung, tom. **62**, nr. 3—4, 1968, p. 267—284.

[26] *McFarlane, A. G. J.* Sign conventions for generalised block diagrams. În : Int. J. Control 7, nr. 3, 1968, p. 257—264.

Intrat în redacție la 30.IX.1968

Consideraţii asupra fenomenelor staţionare electrice şi termice la funcţionarea siguranţelor cu fuzibile

Ion Barbu* — Bucureşti

CZ 621.316.923.017.7.001.25

Calculul termic al siguranţelor fuzibile este dificil în special, datorită aprecierii şi utilizării coeficienţilor de transmisie a căldurii. Astfel, calculînd încălzirea cu coeficienţii de transmisie a căldurii întîlniţi în literatura de specialitate [1], [2], [3], se obţin pentru siguranţe, care în mod practic funcţionează normal, temperaturi de ordinul miilor de grade. Rezultatul contrazice realitatea deoarece temperatura de topire a argintului, material folosit la fuzibilul siguranţelor este de 960°. Coeficienţii de transmisie a căldurii determinaţi la conductoare de lungime mare (de ordinul metrilor) care funcţionează în aer [3] nu pot fi folosiţi la calculul încălzirii fuzibilelor scurte aflate în diferite medii de stingere. Este ştiut că mărimea coeficientului de transmisie a căldurii depinde de un număr mare de parametri, printre altele şi de temperatură, iar temperatura fuzibilelor scurte nu este constantă. Din această cauză se impune determinarea experimentală a coeficientului de transmisie a căldurii pentru fiecare caz special întîlnit în practică. Dificultăţi foarte mari în determinarea acestui coeficient sînt acolo unde temperatura nu poate fi practic măsurată sau introducerea elementelor de măsurare schimbă complet repartiţia temperaturii, deci denaturează rezultatele. Acest neajuns a fost înlăturat prin metoda folosită de autor şi aplicată la siguranţele lente [4]. Metoda folosită la siguranţele lente este generalizată şi în prezenta lucrare, determinîndu-se doi coeficienţi de transmisie a căldurii, k şi η.

Introducerea noului coeficient de transmisie a căldurii η este absolut necesară la fuzibilele care disipă căldura şi pe la capete şi a căror încălzire la capete este diferită de zero. În cazul siguranţelor lente s-a putut considera la capătul fuzibilului (contacte) temperatura zero datorită încălzirilor reduse obţinute pe astfel de siguranţe.

În literatura de specialitate [5], [6], [7] există formule de calcul a încălzirii în funcţie de lungimea conductorului, formule în care se consideră parametrii de material ai conductorului constanţi [8], [9]. În cazul încălzirilor mari, parametrii de material, şi în special rezistivitatea, nu pot fi consideraţi constanţi. Din această cauză în lucrare a fost integrată ecuaţia diferenţială în care se ia în consideraţie variaţia rezistivităţii cu temperatura.

Printr-o metodă originală pe baza formulelor obţinute pentru încălzirea fuzibilelor au fost deduşi, folosind date experimentale (creşteri de rezistenţe de la rece la cald şi încălziri la capete), coeficienţii de transmiterea căldurii la siguranţele fuzibile, unipolare cu filet. Metoda de calcul poate fi aplicată la orice tip de conductor şi în special la aceea la care nu pot fi măsurate temperaturile în lungul conductorului.

1. Ecuaţia încălzirii

Încălzirea unui conductor filiform, la care se consideră temperatura constantă în secţiunea lui transversală, este dată de ecuaţia diferenţială [7], [9], [11]:

$$\gamma c \frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 \theta(x,t)}{\partial x^2} - K \frac{p}{A} \tau(x,t) + \rho J^2(t) \qquad (1)$$

unde:

γ este greutatea specifică, g/cm³;
c — căldura specifică, Ws/g °C;
ρ — rezistivitatea, Ωcm;
J — densitatea de curent, A/cm², valoare eficace sau continuă;
λ — conductivitatea, W/cm °C;
p — perimetrul secţiunii transversale, cm;
A — secţiunea transversală a conductorului, cm²;
K — coeficientul global de transmisie a căldurii, W/cm² °C;
θ — temperatura conductorului, °C;
τ — încălzirea, °C.

Încălzirea este dată de relaţia:

$$\tau = \theta - \theta_0, \qquad (2)$$

unde θ_0 este temperatura mediului ambiant.

Considerînd temperatura mediului ambiant independentă de timp şi de coordonata x, ecuaţia (1), ţinînd seamă de relaţia (2), devine:

$$\gamma c \frac{\partial \tau(x,t)}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 \tau(x,t)}{\partial x^2} - \frac{Kp}{A} \tau(x,t) + \rho J^2(t). \qquad (3)$$

Evident, condiţiile la limită şi iniţiale se scriu în mod corespunzător ecuaţiei (3).

1.1. Ecuaţia diferenţială a încălzirii în regim staţionar se obţine din ecuaţia (3) în care variaţia încălzirii în raport cu timpul este nulă $\left(\frac{\partial \tau}{\partial t} = 0\right)$:

$$\lambda \frac{\partial^2 \tau(x)}{\partial x^2} - \frac{Kp}{A} \tau(x) + \rho J^2 = 0. \qquad (4)$$

* Ing. *I. Barbu* este şeful secţiei Aparate electrice din I.C.P.E.

În ecuația (4) parametrii λ, k și ρ sînt funcțiuni de temperatură.

1.2. Variația parametrilor λ și ρ cu temperatura este dată în literatură sub forma unui polinom de gradul doi [10] sau sub forma unei funcții liniare [1].

Valorile obținute pentru λ și ρ cu cele două funcții nu diferă mult între ele, motiv pentru care se va lua în considerație variația liniară, obținîndu-se pentru integrala ecuației diferențiale (4) forme mai simple.

Rezistivitatea electrică și conductivitatea termică funcție de temperatură, considerînd variația lor liniară, sînt date de relațiile [1]:

$$\lambda_0 = \lambda_0 (1 + b\theta), \qquad (5)$$

$$\rho_0 = \rho_0 (1 + \alpha\theta), \qquad (6)$$

unde:

λ_0 și ρ_0 sînt conductivitatea termică și respectiv rezistivitatea electrică la 0°C;

b și α — coeficienți care depind de material;

θ — temperatura conductorului.

În tabela 1 sînt date valorile acestor coeficienți, iar în tabela 2 variația rezistivității și conductivității cu temperatura.

Tabela 1

Valorile coeficienților ρ_0, λ_0, b_0 și α_0 în funcție de material

Coeficientul / Materialul	Rezistivitatea la 0°C $\rho \cdot 10^{-6}$, Ω cm	Conductivitatea termică la 0°C λ, W/cm °C	Coeficientul de variație $b \cdot 10^{-4}$ 1/°C	Coeficientul de variație la 0°C $\alpha \cdot 10^{-3}$, 1/°C
Ag	1,54	4,162	−0,49	4
Al	2,625	2,105	−1,1	3,7
Cu	1,63	3,653	−0,2	4

Coeficientul global de transmisie a căldurii K variază în funcție de temperatură. Exprimarea acestei variații sub forma unei funcțiuni analitice, valabilă pentru majoritatea cazurilor practice, nu este posibilă, Din acest motiv acest coeficient va fi determinat, în lucrarea de față, pentru fiecare temperatură medie a conductorului, din care va rezulta variația lui cu temperatura.

1.3. Ecuația diferențială ținînd seamă de variația parametrilor cu temperatura, se obține înlocuind în (4) rezistivitatea cu expresia ei din (6). Din calcule rezultă:

$$\lambda_0 \frac{d^2\tau(x)}{dx^2} + \left(\rho_0 \alpha J^2 - K\frac{p}{A}\right)\tau(x) = -\rho_a J^2, \qquad (7)$$

unde:

ρ_a este rezistivitatea la temperatura mediului ambiant;

α — coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura.

În ecuația (4) s-a considerat λ independent de temperatură. Această ipoteză este justificată dacă se analizează tabela 2, unde sînt prezentate valorile ρ/ρ_0 și λ/λ_0 în funcție de temperatură.

Astfel se constată că pînă la temperaturile de fuziune ale principalelor conductoare electrice, cea mai mare valoare a raportului ρ/ρ_0 este de 5,34 pentru Cu, iar cea mai mare valoare pentru raportul λ/λ_0 este de 0,925 pentru Al, de unde rezultă că variația conductibilității termice cu temperatura, față de rezistivitate, este neglijabilă.

1.4. Condiții la limită. Forma condițiilor la limită depinde de alegerea sistemului de coordonate și de forma încălzirii față de mijlocul conductorului. Sînt posibile patru variante: originea axei x se alege la mijlocul conductorului sau la începutul lui și încălzirea se consideră

Tabela 2

Variația rezistivității și conductivității termice cu temperatura

Materialul / Temperatura		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900		
Ag	$\frac{\rho}{\rho_0} = 1 + \alpha\theta$	1	1,4	1,8	2,2	2,6	3	3,4	3,8	4,2	4,6	4,63	957°C
	$\frac{\lambda}{\lambda_0} = 1 + b\theta$	1	0,9951	0,9902	0,9853	0,9804	0,9755	0,9706	0,9657	0,9608	0,9559	0,953	
Al	$\frac{\rho}{\rho_0} = 1 + \alpha\theta$	1	1,37	1,74	2,11	2,46	2,85	3,22	3,43				657°C
	$\frac{\lambda}{\lambda_0} = 1 + b\theta$	1	0,989	0,978	0,967	0,956	0,945	0,954	0,9275				
Cu	$\frac{\rho}{\rho_0} = 1 + \alpha\theta$	1	1,4	1,8	2,2	2,6	3	3,4	3,8	4,2	4,6	5,34	1085°C
	$\frac{\lambda}{\lambda_0} = 1 + b\theta$	1	0,998	0,996	0,994	0,992	0,99	0,988	0,986	0,984	0,982	0,9783	

simetrică sau asimetrică, față de centrul conductorului.

Condițiile la limită pentru primul caz (originea axei x la mijlocul fuzibilului și încălzirea simetrică) sînt :

$$\left.\frac{\partial\tau(x)}{\partial x}\right|_{x=0} = 0 \begin{cases} \tau(x)|_{x=x_1} = \tau_1 & (8) \\ -\lambda\left.\dfrac{\partial\tau(x)}{\partial x}\right|_{x=x_1} = \eta\tau(x)|_{x=x_1}, & (9) \end{cases}$$

unde :

τ_1 este încălzirea conductorului la extremitate ;

η — un coeficient de cedare a căldurii pe la capete.

După cum se observă condițiile la limită au două variante. În a doua variantă se introduce un nou coeficient de transmisie a căldurii η, coeficientul de transmisie a căldurii pe la capetele conductorului. Justificarea relației (9) este dată în anexa I.

Considerînd încălzirea conductorului asimetrică și originea în centrul său, condițiile la limită au forma :

$$\tau(x_1) = \tau_1 ; \ \tau(-x_1) = \tau_2 \qquad (10)$$

$$-\lambda\left.\frac{\partial\tau(x)}{\partial x}\right|_{x=x_1} = \eta_1\tau(x)|_{x=x_1} \text{ și } +\lambda\left.\frac{\partial\tau(x)}{\partial x}\right|_{x=-x_1} = \eta_2\tau(x)|_{x=-x_1}. \qquad (11)$$

Considerînd originea axei x la unul dintre capetele fuzibilului și încălzirea simetrică, condițiile la limită au formele :

$$\tau(x)|_{x=0} = \tau_1 \text{ și } \left.\frac{\partial\tau}{\partial x}\right|_{x=x_1} = 0 \qquad (12)$$

$$-\lambda\left.\frac{\partial\tau}{\partial x}\right|_{x=0} = \eta\tau(x)|_{x=0} \text{ și } \left.\frac{\partial\tau}{\partial x}\right|_{x=x_1} = 0. \qquad (13)$$

În cazul încălzirii asimetrice considerînd originea axei la capătul conductorului se obține :

$$\tau(x)|_{x=0} = \tau_1 \text{ și } \tau(x)|_{x=l} = \tau_2 \qquad (14)$$

$$-\lambda\left.\frac{\partial\tau(x)}{\partial x}\right|_{x=0} = \eta_1\tau(x) \text{ și } -\lambda\left.\frac{\partial\tau(x)}{\partial x}\right|_{x=l} = \eta_2\tau(x)|_{x=l}. \qquad (15)$$

2. Rezolvarea ecuației diferențiale

Ecuația diferențială (7) se rezolvă pentru cele două cazuri, încălzire simetrică și asimetrică.

2.1. Cazul încălzirii simetrice. Considerînd originea axei x în centrul conductorului, încălzirea se obține integrînd ecuația diferențială (7) cu condițiile la limită (8) și (9). Integrala ecuației diferențiale (7) pentru condițiile la limită (8) este calculată în anexa II (12a) * și are forma :

$$\tau(x) = \frac{\rho_a A J^2}{Kp - \rho_0\alpha A J^2}\left(1 - \frac{g\,\mathrm{ch}\,ax}{a\,\mathrm{sh}\,ax_1 + g\,\mathrm{ch}\,ax_1}\right) \qquad (16)$$

unde :

$$a = \sqrt{\frac{Kp}{\lambda_0 A} - \frac{\rho_0}{\lambda_0}\alpha J^2} \text{ și } g = \frac{\eta}{\lambda_0}. \qquad (17)$$

Considerînd originea axei x la capătul fuzibilului și ținînd seamă de condițiile la limită (13) se obține integrala ecuației diferențiale (7) (14a) sub forma :

$$\tau(x) = \frac{\rho_a A J^2}{Kp - \rho_0\alpha A J^2}\left[1 - \frac{g\,\mathrm{ch}\,a(x - x_1)}{g\,\mathrm{ch}\,ax_1 + a\,\mathrm{sh}\,ax_1}\right]. \qquad (18)$$

2.2. Calculul încălzirii asimetrice. Considerînd originea axei x în centrul conductorului, încălzirea se obține din ecuația diferențială (7) ținîndu-se seamă de condițiile la limită (10). Efectuînd calculele se obține (v. anexa III) relația (16 a) :

$$\tau(x) = \frac{\rho_a A J^2}{Kp - \rho_0\alpha A J^2}\left[1 - \frac{2\,\mathrm{sh}\,ax_1\,\mathrm{ch}\,ax_1}{\mathrm{sh}\,2ax_1}\right] + \frac{\tau_1}{\mathrm{sh}\,2ax_1}\,\mathrm{sh}\,a(x_1 + x) + \frac{\tau_2}{\mathrm{sh}\,2ax_1}\,\mathrm{sh}\,(x_1 - x). \qquad (19)$$

Considerînd originea axei la capătul fuzibilului, din calcule se obține ecuația (18 a) :

$$\tau(x) = \tau_1\,\mathrm{ch}\,ax + \frac{\rho_a A J^2}{Kp - \rho_0\alpha A J^2}(1 - \mathrm{ch}\,ax) + \left(\tau_2 - \frac{\rho_a J^2}{\lambda_0 a^2}\right)\frac{\mathrm{sh}\,ax}{\mathrm{sh}\,al} - \left(\tau_1 - \frac{\rho_a J^2}{\lambda_0 a^2}\right)\frac{\mathrm{ch}\,al\,\mathrm{sh}\,ax}{\mathrm{sh}\,al}. \qquad (20)$$

3. Determinarea coeficienților de transmisie a căldurii

În ecuațiile (16) și (18) sînt introduși doi coeficienți de transmisie a căldurii, η și k (k este conținut și de mărimea a (17)), iar în ecuațiile (19) și (20) este introdus numai un singur coeficient de transmisie a căldurii, k.

Determinarea acestor coeficienți de transmisie a căldurii la conductoare foarte subțiri (cazul siguranțelor fuzibile unde $\Phi \leqslant 0{,}3$ mm) nu poate fi făcută prin metode directe, datorită impreciziei și dificultăților de măsurare a temperaturii fuzibilului. Introducerea unui termocuplu pentru măsurarea temperaturii la siguranțele închise, este practic grea ; dar chiar dacă este posibilă introducerea lui, acesta modifică substanțial repartiția temperaturii datorită preluării căldurii de către el. Din aceste motive a fost elaborată de autor o metodă indirectă, semiempirică. Metoda constă în mă-

* Formulele prevăzute cu indicele a se referă la anexe.

surarea variaţiei de rezistenţă de la rece la cald şi a temperaturii la capetele fuzibilului şi determinarea pe baza acestor măsurători a coeficienţilor k şi η.

3.1. Variaţia rezistenţei (ΔR) *cu temperatura*, rezultă din următoarele calcule:

$$R_\theta = R_0(1+\alpha\theta) = R_0 + R_0\alpha(\theta_a+\tau) = R_a + \Delta R,$$

de unde:

$$\Delta R = R_\theta - R_a = R_0\,\alpha\tau\,(x), \qquad (21)$$

unde:

R_θ este rezistenţa fuzibilului la temperatura θ;
R_a — rezistenţa fuzibilului la temperatura ambiantă θ_a;
α — coeficientul de variaţie a rezistivităţii cu temperatura.

Variaţia rezistenţei datorită încălzirii, ţinînd seamă de relaţiile (16) şi (21) se calculează cu formula:

$$\Delta R = 2\int_0^x \rho_0\,\alpha\tau(x)\frac{\mathrm{d}x}{A} =$$

$$= \frac{2\rho_0\,\rho_a\alpha J^2}{Kp-\rho_0\alpha A J^2}\left[x_1\frac{g\,\mathrm{ch}\,ax_1}{a^2\,\mathrm{sh}\,ax_1 + ag\,\mathrm{ch}\,ax_1}\right]. \qquad (22)$$

3.2. Încălzirea la capătul fuzibilului ($x = x_1$) rezultă din formula (16):

$$\tau_1 = \frac{\rho_a A J^2}{Kp-\rho_0\alpha A J^2}\left[1 - \frac{g\,\mathrm{ch}\,ax_1}{a\,\mathrm{sh}\,ax_1 + g\,\mathrm{ch}\,ax_1}\right]. \qquad (23)$$

Din sistemul de ecuaţii (22) şi (23) se pot determina coeficienţii de transmisie a căldurii k şi g; mărimile ΔR şi τ_1 fiind măsurabile fără dificultate şi practic fără erori.

4. Rezultate experimentale şi de calcul

Se vor prezenta rezultatele experimentale obţinute la încercarea unor siguranţe fuzibile, pe baza cărora s-au determinat coeficienţii de transmisie a căldurii şi cu aceştia s-a calculat încălzirea în funcţie de lungime.

4.1. Rezultatele experimentale obţinute la încercarea fuzibilelor sînt trecute în tabela 3. Au fost încercate siguranţele unipolare cu filet [12]; s-au ales patroane cu fuzibile rotunde din argint de dimensiunile 0,16, 0,22 şi 0,32 mm diametru. După cum se observă există o împrăştiere a rezultatelor experimentale, împrăştiere acceptabilă, ţinînd seamă de acest tip de siguranţă. S-au preferat determinări experimentale pe patroane din serii curente, pentru ca rezultatele, ţinînd seamă de împrăştiere, să folosească tocmai la construcţia şi calculul acestor tipuri de siguranţe.

4.2. Calculul coeficienţilor de transmisie a căldurii K şi η rezultă din relaţiile (22), (23) şi (17). Calculul acestor coeficienţi a fost făcut din aproape în aproape, iar rezultatele sînt trecute în tabela 3.

4.3. Calculul încălzirii fuzibilelor funcţie de lungimea x s-a efectuat cu formula (16). Calculele încălzirii şi cu celelalte formule deduse, în care intervin încălzirile la capete şi numai un coeficient de transmisie a căldurii k au dat practic aceleaşi rezultate. În figura 1 sînt prezentate curbele de variaţie a încălzirii în funcţie de lungimea fuzibilului şi încărcare, pentru două diametre ale fuzibilelor, implicit doi curenţi nominali.

După cum se observă variaţia încălzirii cu lungimea pentru conductorul cu diametrul mai

Tabela 3

Parametrii de calcul şi experimentali ai siguranţelor electrice

Diametrul fuzibilului ∅ mm	Densitatea de curent J 10^4 A/cm²	Căderea de tensiune pe fuzibil		Rezistenţa fuzibilului		Creşterea rezistenţei ΔR 10^{-3} Ω	Încălzirea la contacte °C	Încălzirea medie contacte °C	Încălzirea medie mediu °C	Încălzirea maximă maxim °C	Coeficienţii de transmisie a căldurii		Coeficientul g $\frac{1}{\text{cm}}$
		iniţială U_i mV	finală U_f mV	iniţială R_i 10^{-3} Ω	finală R_f 10^{-3} Ω						lateral K W/cm² °C	pe la capete W/cm² °C	
0,16	4,97	650	945	65	94,5	29,5	90	85	196		0,1375	14	3,33
		700	880	70	88	18	85		118,5	123	0,195	5,4	1,285
		750	1 050	75	105	30	96		199	221	0,135	14,3	3,4
		750	1 020	75	102	27	90		179		0,145	12,3	2,93
		700	980	70	98	28	82		186		0,1425	13	3,09
0,22	4,21	730	1 190	45,6	74,3	28,7	150	139,6	360		0,095	12,0	2,83
		600	960	37,5	60	22,5	124		283	268	0,108	8,4	2
		780	1 090	48,7	68,1	19,4	144		243	582	0,12	6,6	1,57
		610	1 180	38,1	73,7	35,6	153		447		0,085	15,4	3,67
		620	1 080	38,7	67,5	28,8	127		361		0,083	17	4,04
0,32	1,99	320	358	20	22,4	2,4	59,5	46,2	63,7	69,2	0,09	3,33	0,795
		230	270	14,35	16,85	2,3	37,3		66,3		0,075	3,4	0,809
		280	340	17,5	21,12	3,7	60,3		98,2		0,055	9,2	2,19
		240	285	13	17,8	2,8	39		74,3		0,0775	4,5	1,07
		280	340	17,5	21,2	3,7	42,6		98,3		0,055	9,2	2,19

mic este mai abruptă. În figura 2 se arată variaţia încălzirii fuzibilelor cu încărcarea pentru mijlocul şi capătul fuzibilului; curbele

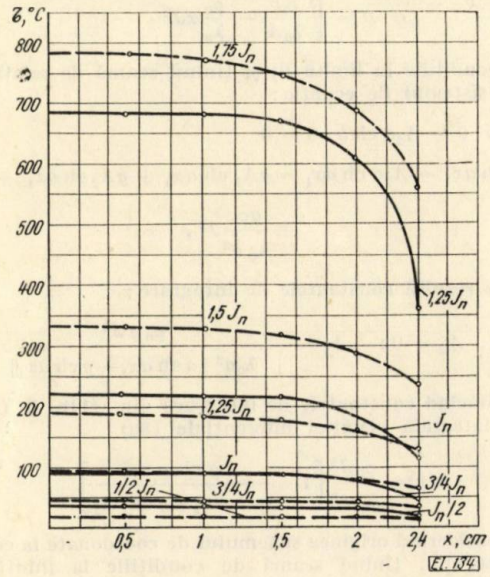


Fig. 1.

sînt de formă parabolică. Parabolele cubice răspund destul de bine acestor forme. Cel mai bine răspund funcţiile hiperbolice, lucru explica-

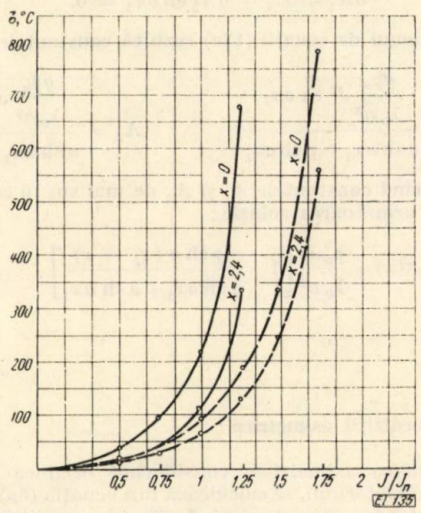


Fig. 2.

bil prin aceea că încălzirea este dată de funcţii hiperbolice. Astfel relaţia cea mai convenabilă pentru exprimarea analitică a acestor curbe este:

$$\tau = A \operatorname{sh} a \frac{J}{Jn}, \qquad (24)$$

unde A şi a sînt constante ce se determină din calculul pentru curbele respective.

În tabela 4 sînt prezentate mărimile A şi a pentru conductoare de diametru 0,16 şi 0,32 mm şi distanţa $x = 0$ şi $x = 2{,}4$ cm. După cum rezultă din relaţia (24) încălzirea nu variază cu pătratul curentului.

Tabela 4

Valorile constantelor A şi a

Dimensiuni mm \ Constante		A °C	a
Ø 0,16	x = 0	10,85	3,7
	x = 24	4,92	3,8
Ø 0,32	x = 0	8,33	3,1
	x = 24	5,36	3,16

Cu ajutorul constantelor din tabela 4 se poate calcula încălzirea conductorului (fuzibilului), pentru orice sarcină, dacă se cunoaşte încălzirea la curentul nominal.

5. Concluzii

5.1. Relaţiile deduse şi determinarea coeficienţilor de transmisie a căldurii pentru cazurile concrete, întîlnite în practică, au permis autorului, ca pe bază de calcule, să elaboreze seria de siguranţe rapide [12].

5.2. Formulele stabilite pentru încălzirea conductoarelor au un caracter general, ele pot fi folosite la orice fel de conductoare cu condiţia determinării coeficienţilor de transmisie a căldurii pentru fiecare caz în parte.

5.3. Metoda folosită la determinarea coeficienţilor de transmisie a căldurii prin măsurarea creşterii de rezistenţă (ΔR) şi a încălzirii la capătul conductorului poate fi aplicată la orice fel de conductor şi în special la conductoarele foarte subţiri şi scurte, la care nu poate fi aplicată metoda directă.

5.4. Se constată că în cazul conductoarelor scurte şi în special la fuzibile, încălzirea nu este proporţională cu pătratul curentului ci variază după o funcţie hiperbolică (24). Constantele ce intervin în funcţia hiperbolică respectivă trebuie calculate pentru fiecare caz concret.

ANEXA 1

Transmisia căldurii în regim staţionar la îmbinarea a două corpuri

Considerînd că fluxul de căldură se transmite de la suprafaţa redusă *1* către suprafaţa mare *2* (fig. 3) şi întreaga căldură transmisă se disipă de către suprafaţa exterioară a conductorului *2* şi densitatea de curent în secţiunea conductorului *2* este neglijabilă (deci efect Joule-Lentz neglijabil). Conform legii lui Newton căldura transmisă prin convecţie de suprafaţa conductorului *2* este dată de expresia:

unde: $$Q_c = KS_2 t\tau, \qquad (1a)$$

K este coeficientul de transmisie a căldurii de către suprafaţa 2;
S_2 — suprafaţa conductorului *2*;
t — timpul;
τ — încălzirea conductorului *2*.

Se presupune conductorul *2* masiv şi avînd în toate punctele lui aceeaşi încălzire. Este cazul siguranţelor electrice la care piesele de capăt sînt masive în comparaţie cu dimensiunile fuzibilului.

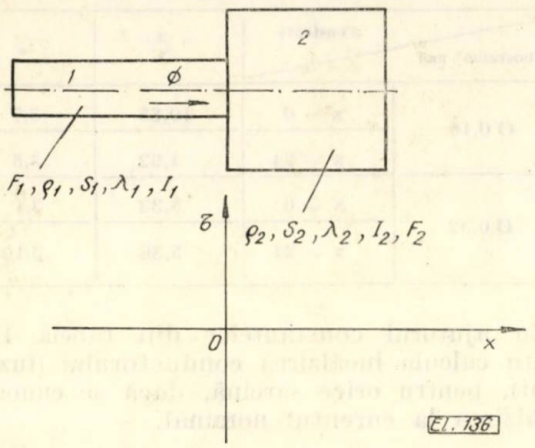


Fig. 3.

Condiţiile la limită pentru suprafaţa de separaţie a conductoarelor sînt :

$$\theta = \theta_x \tag{2a}$$

$$x = 0 \qquad Q_x = \lambda_1 F_1 \frac{\partial \theta}{\partial x} t \tag{3a}$$

unde :

λ_1 este conductibilitatea termică a conductorului 1 ;
F_1 — secţiunea transversală a conductorului 1.

După cum se observă relaţia (3a) constituie legea lui Fourier pentru transmisia căldurii prin conducţie de la corpul *1* la corpul *2*.
În regim staţionar cantitatea de căldură care se transmite de la corpul *1* (3a) către corpul *2* este egală cu cantitatea de căldură transmisă mediului ambiant de către corpul *2*. Egalînd cele două relaţii se obţine următoarea expresie :

$$-\lambda_1 F_1 \frac{\partial \theta}{\partial x} = K S_2 \tau, \tag{4a}$$

notînd :

$$\frac{K S_2}{F_1} = \eta \tag{5a}$$

şi

$$\tau = \theta_x - \theta_a \tag{6a}$$

se obţine :

$$-\lambda \left.\frac{\partial \tau}{\partial x}\right|_{x=0} = \eta \tau|_{x=0}. \tag{7a}$$

ANEXA 2

Calculul încălzirii simetrice

a) Integrala ecuaţiei diferenţiale (7) cu condiţiile la limită (9), considerînd originea în centrul conductorului, rezultă din următoarea ecuaţie diferenţială :

$$\frac{d^2 \tau(x)}{dx^2} + \left[\frac{\varrho_0 \alpha}{\lambda_0} J^2 - \frac{K}{\lambda_0} \frac{p}{A}\right] \tau(x) = -\frac{\varrho_a}{\lambda_0} J^2. \tag{8a}$$

Integrala ecuaţiei diferenţiale (8a) este cunoscută şi are forma :

$$\tau(x) = A_1 \operatorname{ch} ax + A_2 \operatorname{sh} ax + \frac{\varrho_a}{\lambda_0 a^2} J^2, \tag{9a}$$

unde :

A_1 şi A_2 sînt constante de integrare, a — rădăcina ecuaţiei caracteristice :

$$a = \sqrt{\frac{Kp}{\lambda_0 A} - \frac{\varrho_0}{\lambda_0} \alpha J^2}. \tag{10a}$$

Din condiţiile la limită (9) şi ţinînd seamă de relaţia (17) rezultă sistemul de ecuaţie :

$$A_1 a \operatorname{sh} a \cdot 0 + A_2 a \operatorname{ch} a \cdot 0 = 0$$

$$-A_1 a \operatorname{sh} a x_1 - A_2 a \operatorname{ch} a x_1 = g A_1 \operatorname{ch} a x_1 + g A_2 \operatorname{sh} a x_1 + \frac{g \varrho_a}{\lambda_0 a^2} J^2,$$

de unde rezultă constantele de integrare :

$$A_2 = 0; \quad A_1 = -\frac{\varrho_0 g J^2}{\lambda_0 a^2 [a \operatorname{sh} a x_1 + g \operatorname{ch} a x_1]}. \tag{11a}$$

Introducînd constantele de integrare din (11a) în (9a) se obţine integrala ecuaţiei diferenţiale (8a)

$$\tau(x) = \frac{\varrho_a J^2}{\lambda_0 a^2}\left[1 - \frac{g \operatorname{ch} ax}{a \operatorname{sh} a x_1 + g \operatorname{ch} a x_1}\right] \tag{12a}$$

b) Considerînd originea sistemului de coordonate la capătul conductorului, ţinînd seamă de condiţiile la limită (13), integrala ecuaţiei diferenţiale (8a) este dată de (9a). Constantele de integrale se determină ţinînd seamă de condiţiile la limită (13) din următorul sistem de ecuaţie :

$$\begin{aligned} A_1 g - A_2 a &= -g \frac{\varrho_a}{\lambda_0 a^2} J^2 \\ a A_1 \operatorname{sh} a x_1 + a A_2 \operatorname{ch} a x_1 &= 0. \end{aligned} \tag{13a}$$

Din sistemul de ecuaţii (13a) rezultă constantele A_1 şi A_2 :

$$A_1 = -\frac{\frac{g \varrho_a}{\lambda_0 a^2} J^2 \operatorname{ch} a x_1}{a \operatorname{sh} a x_1 + g \operatorname{ch} a x_1}; \qquad A_2 = \frac{\frac{g \varrho_a}{\lambda_0 a^2} J^2 \operatorname{sh} a x_1}{a \operatorname{sh} a x_1 + g \operatorname{ch} a x_1}.$$

Introducînd constantele A_1 şi A_2 de mai sus în ecuaţia (9a) se obţine următoarea soluţie :

$$\tau(x) = \frac{\varrho_a J^2}{\lambda_0 a^2}\left[1 - \frac{g \operatorname{ch} a (x_1 - x)}{g \operatorname{ch} a x_1 + a \operatorname{sh} a x_1}\right]. \tag{14a}$$

ANEXA 3

Calculul încălzirii asimetrice

a) Încălzirea asimetrică, considerînd originea axei x în centrul conductorului, se calculează din ecuaţia (8a), respectiv (7), a cărei integrală este dată de (9a) cu condiţiile la limită (10). Din calcule se obţine :

$$\begin{aligned} A_1 \operatorname{ch} a x_1 + A_2 \operatorname{sh} a x_1 &= \tau_1 - \frac{\varrho_a J^2}{\lambda_0 a^2} \\ A_1 \operatorname{ch} a x_1 - A_2 \operatorname{sh} a x_1 &= \tau_2 - \frac{\varrho_a J^2}{\lambda_0 a^2}, \end{aligned} \tag{15a}$$

din care rezultă valorile constantelor A_1 şi A_2 :

$$A_1 = \frac{(\tau_1 + \tau_2) \operatorname{sh} a x_1 - \frac{2 \varrho_a}{\lambda_0 a^2} J^2 \operatorname{sh} a x_1}{\operatorname{sh} 2 a x_1}$$

$$A_2 = -\frac{(\tau_2 - \tau_1) \operatorname{ch} a x_1}{\operatorname{sh} 2 a x_1}.$$

Înlocuind constantele de mai sus în ecuaţia (9a) se obţine :

$$\tau(x) = \frac{\rho_a J^2}{\lambda_0 a^2}\left[1 - \frac{2\,\mathrm{sh}\,ax_1\,\mathrm{ch}\,ax}{\mathrm{sh}\,2ax_1}\right] + \frac{\tau_1+\tau_2}{\mathrm{sh}\,2ax_1}\mathrm{sh}\,ax_1\cdot\mathrm{ch}\,ax - (\tau_2-\tau_1)\frac{\mathrm{ch}\,ax_1}{\mathrm{sh}\,2ax_1}\mathrm{sh}\,ax. \quad (16a)$$

b) Considerînd originea axei x la capătul fuzibilului se obţine din condiţiile la limită (14) un sistem de ecuaţii, din care se determină constantele de integrare A_1 şi A_2 :

$$A_1 = \tau_1 - \frac{\rho_a J^2}{\lambda_0 a^2}$$

$$A_2 = \left(\tau_2 - \frac{\rho_0 J^2}{\lambda_0 a^2}\right)\frac{1}{\mathrm{sh}\,al} - \frac{\mathrm{ch}\,al}{\mathrm{sh}\,al}\left(\tau_1 - \frac{\rho_a J^2}{\lambda_0 a^2}\right), \quad (17a)$$

iar soluţia ecuaţiei diferenţiale este :

$$\tau(x) = \tau_1\,\mathrm{ch}\,ax + \frac{\rho_a J^2}{\lambda_0 a^2}[\mathrm{ch}\,ax - 1] + \left[\tau_2 - \frac{\rho_a J^2}{\lambda_0 a^2}\right]\frac{\mathrm{sh}\,ax}{\mathrm{sh}\,al} - \left[\tau_1 - \frac{\rho_a J^2}{\lambda_0 a^2}\right]\frac{\mathrm{ch}\,al\,\mathrm{sh}\,ax}{\mathrm{sh}\,al}. \quad (18a)$$

Bibliografie

1] *Steinberg, C.* Teoria şi proiectarea aparatelor electrice, vol. I, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1964.

[2] *Novotny, D.* Der Schutz von Halbleiterdioden mittels Sicherungen. În : Wissenschaftliche Zeitschrift der technischen Hochschule Ilmenau, **9**, 1963, nr. 5, p. 685—689.

[3] *Avramescu, A* şi *Mastero, S.* Încălzirea la scurtcircuite a conductoarelor de aluminiu. În : Studii şi cercetări de energetică, tom **III**, 1953.

[4] *Barbu, I.* Construcţia şi tehnologia siguranţelor lente de 6—100 A, 500 V, 50 Hz. În : Electrotehnica **14**, nr. 11, **1966**, p. 405—413.

[5] *Kukekov, G. A.* Procktirovanie vikluciatelei peremennovo toka visoko naprajenia, Moscova, GEI, 1961.

[6] *Holm, R.* Electric contacts handbook. Berlin (Göttingen) Heidelberg, Springer Verlag, 1958.

[7] *Kaspar, F.* Thermo-Bimetalische in der Elektrotechnik VEB. Berlin, Verlag Technik, 1960.

[8] *Avramescu, A.* Posibilităţile calculului de dimensionare termică a siguranţelor fuzibile. În : Electrotehnica 1, 1953, nr. 9, p. 23—33.

[9] *Avramescu, A.* Contribuţii la calculul încălzirii tranzitorii a siguranţelor fuzibile. În : Comunicările Academiei, tom **V**, nr. 4, 1955.

[10] *Avramescu, A.* Încălzirea adiabatică a conductoarelor din cupru, aluminiu şi argint. În : Studii şi cercetări energetice, tom **V**, nr. 3, 4, 1955.

[11] *Horlopan, G.* Aparate electrice. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1967.

[12] *Barbu, I.* Construcţia şi tehnologia seriei unitare de patroane fuzibile rapide cu filet de joasă tensiune de 6—100 A. În : Electrotehnica **10**, nr. 7, 1962, p. 256—265.

Intrat în redacţie la 27.VI.1968

Noi aspecte privind influenţa mişcării oscilatorii a electrodului asupra proceselor de prelucrare cu scîntei electrice

Alexandru Nichici* — Timişoara

CZ 621.791.753.015.53 : 621.79

În studiul influenţei mişcării oscilatorii a electrodului asupra fenomenelor de bază ale procesului de prelucrare cu scîntei electrice, s-au dezvoltat în timp două puncte de vedere principale :

— primul, care explică influenţa mişcării oscilatorii a electrodului prin îmbunătăţirea evacuării produselor eroziunii din spaţiul de lucru [1], [2], [3], [4], [5], [6] şi, în strînsă legătură cu aceasta, prin mărirea stabilităţii procesului de prelucrare [7],

— al doilea, după care [8] „rolul principal al oscilării electrodului constă nu în acţiunea de pompare a lichidului de lucru, cum se interpretează obişnuit într-o serie de lucrări, ci în crearea condiţiilor pentru formarea descărcărilor prin impuls între electrozi şi anume a descărcărilor distribuite în mod determinat după energii".

Meritul acestui punct de vedere, iniţiat de [9] constă în faptul că a evidenţiat influenţa mişcării oscilatorii a electrodului asupra fenomenelor electrice din procesul de prelucrare, emiţînd ideea posibilităţii optimizării prelucrării în funcţie de parametrii oscilaţiilor.

În nici una din lucrările citate, punctele de vedere adoptate nu sînt justificate prin analiza ansamblului de fenomene existente la prelucrarea cu scîntei electrice cu electrod oscilant. Datorită modului unilateral de tratare a problemei, generalizarea rezultatelor obţinute nu este posibilă.

Determinarea condiţiilor de optimizare a prelucrării prezintă o deosebită importanţă practică întrucît majoritatea covîrşitoare a maşinilor de prelucrare prin eroziune electrică, care lucrează pe principiul copierii, inclusiv cele echipate cu generatoare de impulsuri comandate, utilizează mişcarea oscilatorie a electrodului pentru asigurarea posibilităţii prelucrării şi intensificarea prelevării de material.

Într-o lucrare anterioară [10] s-a efectuat un studiu teoretic al procesului de generare a impulsurilor la prelucrarea cu electrod oscilant. Pentru elucidarea acţiunii mişcării oscilatorii a electrodului asupra ansamblului feno-

* Ing. *Alex. Nichici* este şef de lucrări la Institutul politehnic-Timişoara.

menelor din procesul prelucrării, investigația a fost continuată cu cercetarea experimentală în condiții de exploatare. O parte din rezultatele obținute, legate de fenomenele de bază ale prelucrării, sînt prezentate în continuare.

1. Influența mișcării oscilatorii a electrodului asupra proceselor de prelucrare cu scîntei electrice

1.1. Condiții de experimentare

Experimentarea * s-a efectuat pe o mașină Erosimat C, echipată cu un generator de impul-

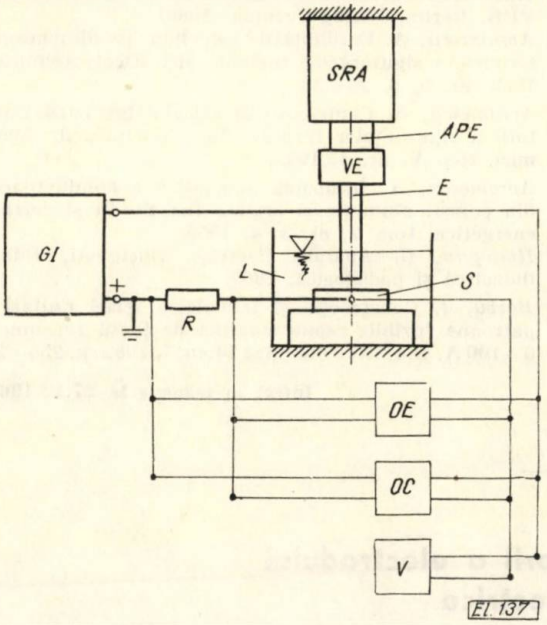


Fig. 1. Schema de principiu a instalației de experimentare : *GI* – generator de impulsuri RC; *SRA* – sistem de reglare al interstițiului de lucru; *APE* – ax portelectrod; *VE* – vibrator electromagnetic; *E* – electrod; *S* – semifabricat; *L* – lichid de lucru (petrol); *R* – rezistență de măsură (0,375 Ω); *OE* – oscilograf electromecanic; *OC* – osciloscop catodic; *V* – voltmetru magnetoelectric.

suri de relaxare de tip RC (pentru regimurile de finisare utilizate) și cu un sistem de reglare a interstițiului de lucru de tip electrodinamic. Oscilarea forțată a electrodului s-a realizat cu un vibrator electromagnetic de curent alternativ ($f_{osc} = 100$ Hz), de construcție proprie ** fixat pe axul portelectrod al mașinii.

S-au executat orificii circulare în plăci din oțel WSCW 20 (STAS 3611–66) cu grosimea $h = 1 \ldots 9$ mm, folosind electrozi din wolfram cu diametrul $d = 1{,}5 \ldots 4$ mm.

Ca mijloc principal de investigație s-a practicat oscilografierea tensiunii și curentului din spațiul de lucru, culese conform schemei din figura 1. Pentru oscilografiere s-au utilizat un oscilograf electromecanic Honeywell Visicorder 1706 cu galvanometre echipate cu bobine mobile tip BB 1400 A și un osciloscop catodic Tesla Krizik D 581.

Au fost de asemenea determinate cantitățile de material prelevate din electrod și semifabricat, prin măsurări cu balanța analitică și durata prelucrării cu cronometrul.

1.2. Oscilații proprii ale electrodului

În condițiile experimentării efectuate, oscilațiile proprii ale electrodului au fost provocate de pendularea sistemului de reglare automată a interstițiului de lucru. Instabilitatea reglării interstițiului de lucru la viteze liniare de eroziune mici a fost semnalată și în [11].

În figura 2 se reproduc oscilograme ale tensiunii (sus) și curentului din spațiul de lucru (jos), ridicate cu oscilograful electromecanic în condiții de prelucrare caracterizate prin prezența oscilațiilor proprii. Oscilogramele sînt etalonate pe verticală pentru 14,8 V/diviziune, și respectiv 0,225 A/diviziune, iar pe orizontală pentru 0,1 s/diviziune.

Din examinarea oscilogramelor se remarcă trecerea periodică a electrodului în poziții de scurtcircuit cu semifabricatul (linia de zero a oscilogramei de tensiune) și de mers în gol, la distanțe în raport cu semifabricatul mai mari decît lungimea disruptivă corespunzătoare valorii maxime a tensiunii generatorului de impulsuri (linia de zero a oscilogramei de curent).

Rezultă că amplitudinea oscilațiilor proprii depășește sensibil mărimea interstițiului de lucru în care este posibilă generarea impulsurilor de curent în zona de interacțiune electrod-semifabricat, ceea ce determină o utilizare neeconomică a timpului de prelucrare.

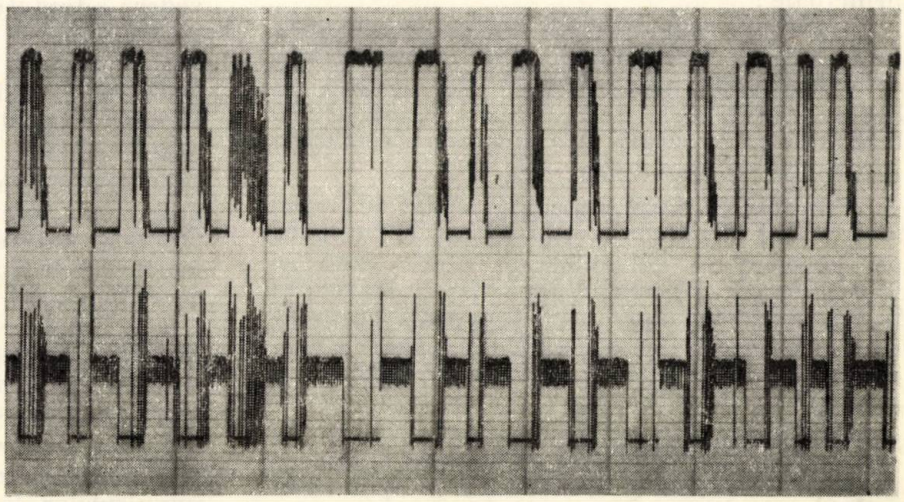


Fig. 2. Oscilograme ale tensiunii și curentului din spațiul de lucru.

* La efectuarea experimentării au luat parte și ing. *Gyurcsik P.* Ing. *Popa H.* și Tehn. *Popescu M.*

** La realizarea vibratorului a contribuit și Tehn. *Alex. Sălceanu.*

Frecvența oscilațiilor proprii ale electrodului f și duratele de scurtcircuitare t_{sc} respectiv de mers în gol t_g nu au, în condiții date valori riguros constante. Caracterizarea acestor mărimi prin valori medii permite însă evidențierea principalilor factori ce influențează parametri oscilațiilor (tabela 1).

asigurată evacuarea normală a produselor eroziunii, determină o creștere sensibilă a DRL. Acest fapt reiese foarte clar și din compararea oscilogramelor reproduse în figurile 3 (H =1 mm) și 4 (H = 3 mm).

Existența unui maxim al productivității prelucrării Q în funcție de adîncimea de pre-

Tabela 1

Treapta de lucru a mașinii	Sensibilitatea reglării	Potențiometru echilibrare	Greutate pe ax portelectrod kg	Distanța inițială electrod-semifabricat mm	d mm	H mm	f Hz	t_{sc} ms	t_g ms	$DRSC$[1] %	DRG[2] %	DRL[3] %	Observații
		minim coresp.	1,7	2	2	<1	15,3	29,8	20,7	45,8	31,6	22,6	fig. 2
R 5 finisare		,, ,,	0,4	2	2	<1	23,7	22,7	14,5	53,8	29,0	17,2	—
U_g = 360 V													
I_{sc} = 2,5 A	maximă	,, ,,	0,4	12	2	<1	20,6	22,4	15,3	46,1	32,1	21,8	—
C = 3 μF													
U_s = 150 V		,, ,,	1,7	2	1,5	1	16,8	24,1	29,5	40,5	35,7	23,8	fig. 3
		,, ,,	1,7	2	1,5	3	11,5	32,3	7,2	37,1	18,4	44,5	fig. 4
	minimă	maxim coresp.	1,7	2	2	<1	12,8	37,9	28,4	48,5	33,1	18,4	—
R 4 finisare													
U_g = 360 V	maximă	minim coresp.	1,7	2	2	<1	16,0	32,5	21,1	52,0	31,2	16,8	—
I_{sc} = 2,5 A													
C = 0,565 μF													
U_s = 150 V	minimă	maxim coresp.	1,7	2	2	<1	11,8	50,4	25,9	59,6	26,8	13,6	—

[1] $DRSC$ — durata relativă de scurtcircuit
[2] DRG — durata relativă de mers în gol
[3] DRL — durata relativă de lucru

În rîndul acestora se numără sensibilitatea și viteza de reacție a sistemului de reglare, pe de o parte, și regimul de lucru, mărimea suprafeței de interacțiune electrod-semifabricat și adîncimea de prelucrare, pe de altă parte.

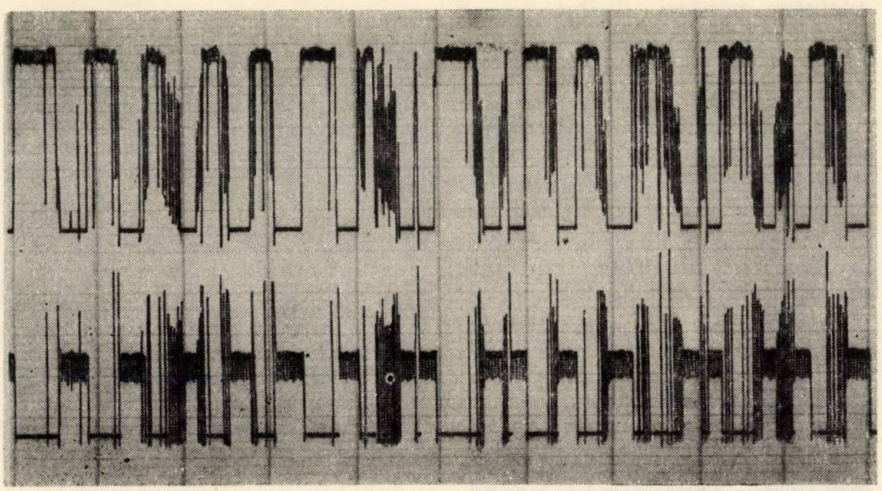
Analiza oscilogramelor ridicate arată că generarea impulsurilor de curent electric în spațiul de lucru are loc numai în timpul mișcărilor de apropiere respectiv îndepărtare a electrodului de semifabricat, prin amorsarea succesivă a unui șir de descărcări electrice cu energii din ce în ce mai mici și respectiv din ce în ce mai mari, în concordanță cu cele arătate în [10].

Considerat în ansamblu, procesul de generare a impulsurilor în condițiile oscilațiilor proprii ale electrodului afectează numai o mică parte a timpului de prelucrare, determinînd durate relative de lucru (DRL) foarte scăzute (tabela 1).

Urmărirea datelor cuprinse în tabela 1 conduce la observația că mărirea adîncimii de prelucrare H, în condiții în care este

lucrare H (fig. 5), semnalată și de [12], [13] poate fi explicată în modul următor.

Creșterea concentrației produselor eroziunii în spațiul de lucru la mărirea lui H determină, pe de o parte, o micșorare aparentă a rigidității dielectrice a mediului dintre electrod și semifabricat. Prin aceasta devine posibilă amorsarea



EL.139

Fig. 3. Oscilograme ale tensiunii și curentului din spațiul de lucru.

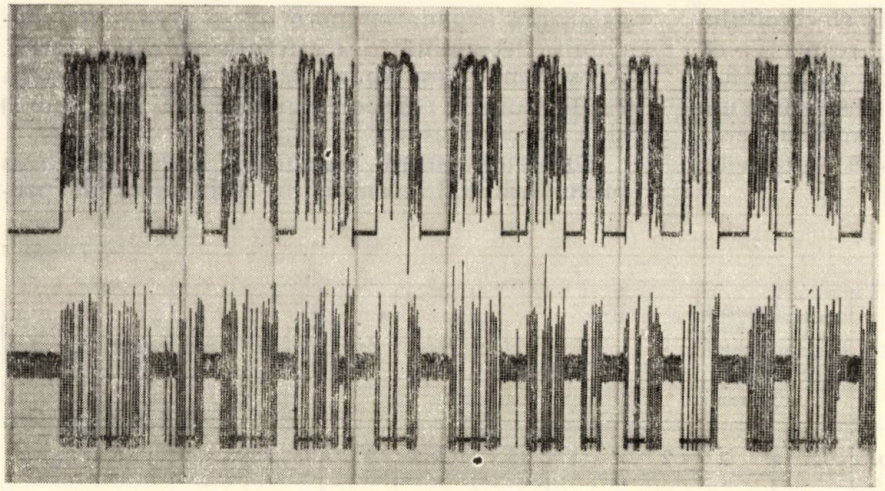


Fig. 4. Oscilograme ale tensiunii şi curentului din spaţiul de lucru.

unui număr sporit de descărcări electrice şi, implicit, rezultă mărirea DRL.

Pe de altă parte, creşterea excesivă a concentraţiei produselor eroziunii, dincolo de o

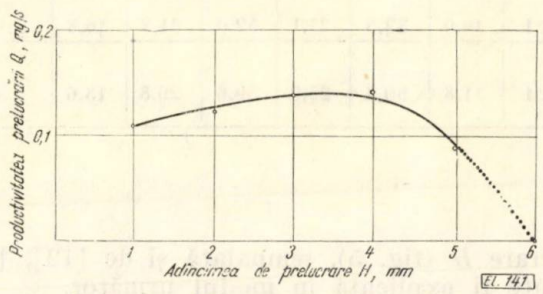


Fig. 5. Dependenţa productivităţii prelucrării Q de adîncimea orificiilor executate H:
Regim 5 finisare: $d = 2$ mm

anumită valoare critică [11], [14] face ca o fracţiune din ce în ce mai importantă a descărcărilor să se consume în mod neproductiv, exclusiv pentru dezintegrarea şi transportul particulelor metalice deja îndepărtate de pe suprafaţa obiectului prelucrării.

De asemenea, ca urmare a deselor scurtcircuite între electrod şi semifabricat, stabilitatea prelucrării scade şi durata relativă de scurtcircuit (*DRSC*) creşte. În anumite condiţii, aceasta poate declanşa fenomenul de cocsificare [15], care determină întreruperea procesului de prelevare a materialului semifabricatului.

În legătură cu cele arătate trebuie subliniat faptul că în menţinerea concentraţiei produselor eroziunii la un nivel admisibil un rol important, de data aceasta pozitiv, revine oscilaţiilor proprii ale electrodului prin efectul de pompare şi turbionare a lichidului de lucru.

Fenomenul oscilaţiilor proprii ale electrodului, prezentat în lucrare prin elementele caracteristice, este important şi din punct de vedere practic. Astfel, parametrii oscilaţiilor proprii, în special *DRL* şi *DRSC* pot servi drept criterii pentru aprecierea calităţii sistemului de reglare a interstiţiului de lucru. De asemenea, cunoaşterea frecvenţei oscilaţiilor proprii este obligatorie pentru procesele de prelucrare în care se aplică oscilaţii forţate electrodului, întrucît o eventuală rezonanţă ar putea compromite prelucrarea.

1.3. Oscilaţii forţate ale electrodului

Imprimarea unei mişcări oscilatorii forţate electrodului exercită o influenţă multiplă, pînă la ora actuală insuficient elucidată, asupra proceselor de prelucrare cu scîntei electrice.

Este de aşteptat, în primul rînd, anihilarea fenomenului oscilaţiilor proprii (la o diferenţă suficient de mare între frecvenţele oscilaţiilor forţate şi proprii) şi stabilizarea prelucrării pe frecvenţa oscilaţiilor forţate. Figura 6 în care s-au reprodus oscilogramele tensiunii şi curentului din spaţiul de lucru în perioada regimului tranzitoriu dintre prelucrarea obişnuită cu oscilaţii proprii şi prelucrarea cu oscilaţii forţate, reflectă acest proces.

Influenţa oscilaţiilor forţate ale electrodului asupra ansamblului fenomenelor din procesul de prelucrare nu poate fi studiată fără a se ţine seama de parametrii acestor oscilaţii, în special frecvenţă şi amplitudine.

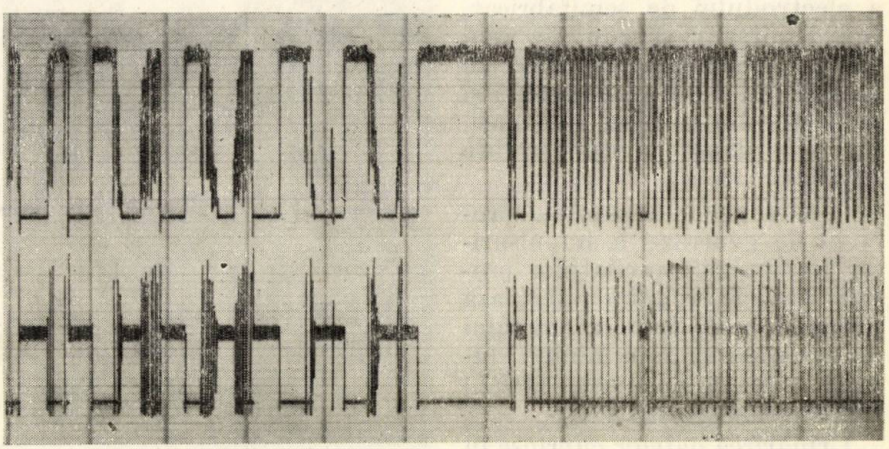


Fig. 6. Oscilograme ale tensiunii şi curentului din spaţiul de lucru:
regim 5 finisare; $H < 1$ mm; $A/2 = 230$ μm.

Dacă în stabilirea frecvenței de oscilare forțată factorul determinant a fost, prin utilizarea vibratorilor electromagnetici de curent alternativ, frecvența rețelei de alimentare disponibilă (de regulă 50 Hz), pentru alegerea amplitudinii oscilațiilor, în literatura de specialitate nu se indică, pînă în prezent, nici un fel de date justificative.

Pentru a evidenția complexitatea fenomenelor ce intervin, în figura 7 s-au reprezentat

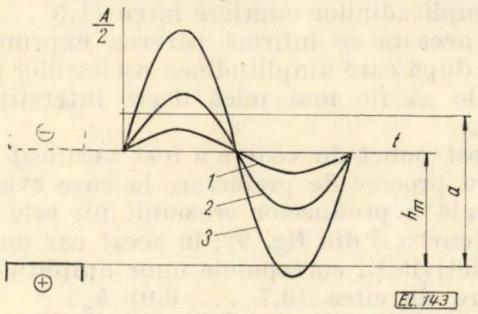


Fig. 7. Domeniul de variație al amplitudinii oscilațiilor forțate A/2 :

a — lungimea disruptivă corespunzătoare valorii maxime a tensiunii generatorului de impulsuri ; h_m — valoarea mijlocie a interstițiului de lucru dintre electrod și semifabricat.

trei situații caracteristice pentru procesul de generare a impulsurilor, în funcție de valoarea amplitudinii oscilațiilor.

În cazul (1) procesul de generare a impulsurilor va fi, teoretic, neîntrerupt. În cazurile (2) și (3) vor interveni pauze în perioadele în care $\frac{A}{2} > (a - h_m)$ (mers în gol) și $\frac{A}{2} > h_m$ (mers în gol și respectiv în scurtcircuit). Gradul de utilizare al timpului de prelucrare va fi diferit în cele trei cazuri (maxim în primul, minim în al treilea).

Desfășurarea normală a procesului de generare a impulsurilor este însă condiționată de existența unei concentrații optime a produselor eroziunii în mediul dielectric din spațiul de lucru. Influența oscilațiilor forțate asupra procesului de evacuare a produselor eroziunii va fi cu atît mai favorabilă cu cît, la f_{osc} = constant, amplitudinea de oscilare va fi mai mare. Din acest punct de vedere, cazul (3) (fig. 7) va fi deci cel mai eficace.

În fine, analizînd stabilitatea prelucrării același caz (3) este de data aceasta cel mai dezavantajos, prin scurtcircuitele periodice pe care le introduce și prin pericolul deformării electrodului în timpul ciocnirilor cu semifabricatul.

Interacțiunea proceselor descrise determină un caracter extremal al dependenței productivității prelucrării de mărimea amplitudinii oscilațiilor forțate.

Alura curbelor, valoarea absolută și poziția maximelor variază în limite relativ largi în funcție de condițiile concrete ale prelucrării și de raportul între acțiunea factorilor intrinseci ai procesului de eroziune și acțiunea factorilor exteriori, introduși prin oscilarea forțată a electrodului.

Importantă este, în mod deosebit, capacitatea naturală a procesului electroeroziv de a asigura realizarea ambelor etape ale evacuării produselor eroziunii [11] : din craterele de eroziune, și din spațiul de lucru.

În figura 8 sînt reprezentate curbele de variație a productivității în funcție de amplitudinea oscilațiilor, avînd ca parametru adîncimea H a orificiilor executate. Curbele au fost ridicate în condiții de lucru la care este asigurată evacuarea naturală a produselor eroziunii.

În acest caz, influența oscilațiilor forțate asupra evacuării este relativ slabă. Aceasta rezultă din caracterul predominant coborîtor al curbelor, în special la valori mici ale lui H, ceea ce dovedește rolul determinant al procesului de generare a impulsurilor.

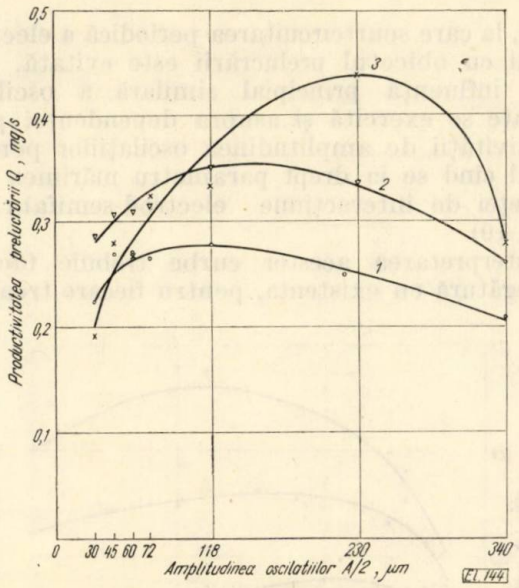


Fig. 8. Dependența productivității prelucrării Q de amplitudinea mișcării oscilatorii A/2 :

Regim de lucru 5 finisare; d = 2 mm; 1 — H = 1 mm; 2 — H = 3 mm; 3 — H = 6 mm.

O situație mult diferită de cea descrisă corespunde curbelor reprezentate în figura 9. În aceleași condiții geometrice ale prelucrării, energia medie a descărcărilor este de peste 5 ori mai redusă. În consecință, evacuarea naturală a produselor eroziunii se face mult mai dificil și la adîncimi de peste 4 mm prelucrarea fără aplicarea oscilațiilor forțate devine imposibilă.

În acest caz, influența oscilării asupra procesului de evacuare este mult mai pronunțată. La adîncimi de prelucrare mici se asigură o alură crescătoare a curbei productivității. Pe măsura măririi lui H posibilitățile mișcării de oscilare forțată de a menține concentrația

optimă a produselor eroziunii în spaţiul de lucru se dovedesc însă limitate. Valorile maxime ale productivităţii trec printr-un maxim maximorum şi se deplasează spre amplitudini mai

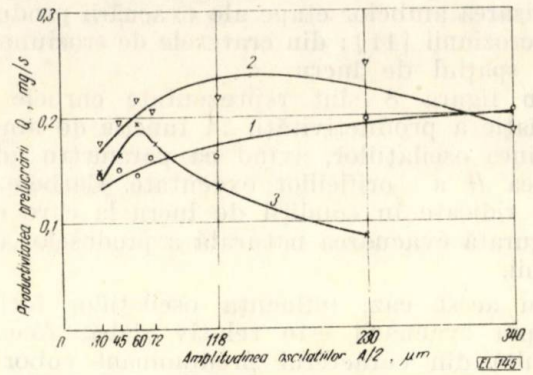


Fig. 9. Dependenţa productivităţii prelucrării Q de amplitudinea mişcării oscilatorii A/2:
Regim de lucru 4 finisare: d = 2 mm; *1* – H = 1 mm; *2* – H = 3 mm; *3* – H = 6 mm

mici, la care scurtcircuitarea periodică a electrodului cu obiectul prelucrării este evitată.

O influenţă principial similară a oscilării forţate se exercită şi asupra dependenţei productivităţii de amplitudinea oscilaţiilor pentru cazul cînd se ia drept parametru mărimea suprafeţei de interacţiune electrod-semifabricat (fig. 10).

Interpretarea acestor curbe trebuie făcută în legătură cu existenţa, pentru fiecare treaptă

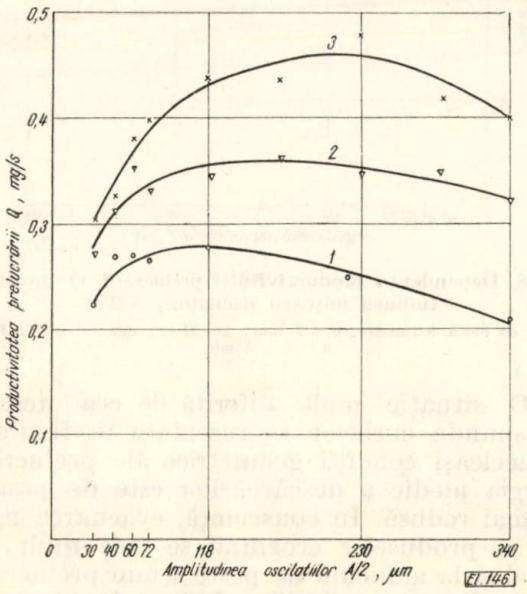


Fig. 10. Dependenţa productivităţii prelucrării Q de amplitudinea mişcării oscilatorii A/2:
Regim de lucru 5 finisare: H = 1 mm; *1* – S = 3,1 mm²; *2* – S = 8,8 mm²; *3* – S = 19,6 mm²

de lucru a maşinii, a unei valori optime a suprafeţei de interacţiune din punct de vedere al evacuării produselor eroziunii [16].

Analiza datelor experimentale obţinute permite evidenţierea unor criterii pentru stabilirea valorii amplitudinii oscilaţiilor forţate, care să determine un efect eroziv integral maxim.

În condiţiile cercetării efectuate interstiţiul de lucru h_m era de circa 75 μm. Aşa cum rezultă din curbele figurilor 8 şi 10, ridicate în procese de prelucrare caracterizate prin evacuarea naturală a produselor eroziunii, productivitatea prelucrării obţine valori maxime pentru mărimi ale amplitudinilor cuprinse între (1,5 ... 3) h_m. Prin aceasta se infirmă părerea exprimată în [17], după care amplitudinea oscilaţiilor forţate trebuie să fie mai mică decît interstiţiul de lucru.

Acest punct de vedere a fost verificat numai pentru procese de prelucrare la care evacuarea naturală a produselor eroziunii nu este asigurată (curba *3* din fig. 9); în acest caz maximul productivităţii corespunde unor amplitudini de vibrare de circa (0,7 ... 0,9) h_m.

Se poate aprecia că principalul factor care determină, în condiţii date, valoarea optimă a amplitudinii oscilaţiilor forţate este concentraţia produselor eroziunii în spaţiul de lucru la prelucrarea obişnuită.

Pentru valori subcritice ale acestuia, prelucrarea obişnuită este posibilă, iar necesitatea intensificării prelevării de material poate fi satisfăcută prin oscilarea forţată a electrodului cu amplitudini sensibil superioare valorii mijlocii a interstiţiului de lucru.

Pentru valori critice sau supracritice ale concentraţiei produselor eroziunii, la care realizarea prelucrării obişnuite se află la limita dintre posibil şi imposibil respectiv în domeniul imposibilului, asigurarea continuităţii prelucrării impune oscilarea forţată a electrodului cu amplitudini inferioare interstiţiului de lucru.

2. Concluzii

Oscilaţiile proprii ale electrodului determină în procesele de prelucrare cu scîntei electrice durate relative de lucru şi productivităţi reduse. De aceea se impune, în general, adoptarea unor soluţii principiale, constructive şi tehnologice adecvate pentru evitarea apariţiei lor.

Oscilaţiile proprii ale electrodului exercită o acţiune favorabilă în procesele de prelucrare caracterizate prin condiţii dificile de evacuare naturală a produselor eroziunii.

Parametrii oscilaţiilor proprii pot servi drept criterii de calitate pentru sistemul de reglare automată a interstiţiului de lucru.

Oscilarea forţată a electrodului reprezintă un mijloc simplu şi eficace de anihilare a oscilaţiilor proprii, cu condiţia ca diferenţa frecvenţelor oscilaţiilor proprii şi forţate să fie suficient de mare.

Drept criteriu pentru determinarea valorilor amplitudinii oscilaţiilor forţate, care să asigure

productivităţi maxime ale prelucrării poate servi concentraţia produselor eroziunii în spaţiul de lucru la prelucrarea obişnuită.

La valori subcritice ale acesteia, amplitudinile optime sînt cuprinse între (1,5 ... 3) h_m. Cu creşterea adîncimii H şi a suprafeţei de interacţiune S, maximul productivităţii se deplasează spre amplitudini de oscilare mai mari.

La valori critice sau supracritice ale concentraţiei produselor eroziunii în spaţiul de lucru amplitudinile optime de oscilare forţată sînt de circa (0,7 ... 0,9) h_m.

Bibliografie

[1] *Levinson, E. M.* În culegerea : Elektroiskrovaia obrabotka metallov, vîp. 2. Moscova, Izd. Akad. Nauk SSSR, 1960, p. 237—241.

[2] *Belisario, G.* Esperimenti di elettroerosione a scintilla su SAP. În : Ricerca scientifica **36**, nr. 3, 1966, p. 224—231.

[3] *Gough, P. J. C.* Machining metals by the spark discharge technique. În : Engineers Digest **27**, nr. 4, 1966, p. 91—94.

[4] *Kamsiuk, M. S.* O kolebaniah instrumenta v protesse elektroimpulsnoi obrabotki. În : IVUZ Maşinostroienie, nr. 1, 1967, p. 152—157.

[5] *Lapore, J. P.* EDM turning, boring improve tolerances. În : American machinist 111, nr. 2, 1967, p. 111—112.

[6] *Gutkin, B. G.* Elektroiskroviie stanki dlia obrabotki detalei toplivnoi aparaturî. În : Stanki i instrument, nr. 9, 1967, p. 19—21.

[7] *Holodnov, E. V.* În culegerea : Elektroiskrovaia obrabotka metallov, vîp. 2. Moscova, Izd. Akad. Nauk SSSR, 1960, p. 158—159.

[8] *Miţkevici, M. K.* În culegerea : Fiziceskie osnovî elektroiskrovoi obrabotki materialov. Moscova, Nauka, 1966, p. 128—138.

[9] *Ganser, K.* Feinbearbeitung metallischer Werkstoffe durch funkenerosives Senken. Köln, R. Pulm, 1961, p. 31—34.

[10] *Nichici, A.* Studiul procesului de generare al impulsurilor la prelucrarea cu scîntei electrice cu electrod oscilant. În : Electrotehnica **15**, nr. 2, 1967, p. 69—75.

[11] *Livşit, A. L.* şi colectiv. Elektroimpulsnaia obrabotka metallov. Moscova, Maşinostroienie, 1967, p. 54—60; 156—161; 168—169.

[12] *Popilov, L. I.* Spravocinik po elektriceskim i ultrazvukovîm metodam obrabotki materialov. Moscova, Maşghiz, 1963, p. 291.

[13] *Stanek, J.* Einige Fragen der technologischen Kenngrössen der elektroerosiven Bearbeitung. În : Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Ilmenau **9**, Heft 5, 1963, p. 713—720.

[14] *Emerson, Ch.* EDM at General Motors. În : American Machinist **111**, nr. 8, 1967, p. 148—152.

[15] *Aronov, A. I.* În culegerea : Elektroimpulsnîi i elektrokontaknîi sposobî obrabotki metallov, vîp. 3. Moscova, ENIMS—ONTI, 1962, p. 62—91.

[16] *Nichici, A.* Contribuţie la determinarea regimurilor optime de prelucrare cu scîntei electrice în funcţie de mărimea suprafeţei prelucrate. În : Construcţia de maşini **18**, nr. 11, 1966, p. 645—649.

[17] Goldthwaite, V. R. EDM and ECM as production tools. În : Metal Progress 92, nr. 6, 1967, p. 135; 137—140.

Intrat în redacţie la 15.VIII.1968

PENTRU TÎNĂRUL INGINER

Calculul unor circuite magnetice cu magneţi permanenţi şi dispersie repartizată

Adrian Cupşa şi Corina Boghiu* — Bucureşti

CZ 621.3.042.1:621.318.23

Circuitele magnetice cu magneţi permanenţi sînt mult utilizate în tehnică sub formă de relee polarizate sau electromagneţi fără excitaţie, miezuri feromagnetice premagnetizate, micromaşini electrice, aparate de măsură, dispozitive electroacustice etc. Ca urmare a acestui fapt şi literatura de specialitate — din care amintim doar lucrările [1], [8], [3], [6], [7] — tratează pe larg calculul şi construcţia acestor circuite magnetice, insistînd însă, aproape exclusiv, asupra metodelor grafice. De dispersia magnetică, care are o pondere mai mare ca la electromagneţii cu bobină de excitaţie, atît din motive constructive, cît şi din cauza permeabilităţii magnetice reduse a magnetului permanent, se ţine seamă de obicei introducînd un factor global de scăpări, ceea ce constituie o aproximaţie grosieră atunci cînd interesează distribuţia cîmpului magnetic în lungul circuitului.

De altfel, foarte puţine probleme — doar cînd configuraţia geometrică mai simplă permite acest lucru — pot fi rezolvate exact prin integrarea ecuaţiei lui Laplace. Totuşi, în cazul electromagneţilor cu bobină de excitaţie, literatura de specialitate oferă metode analitice sau grafoanalitice suficient de exacte care ţin seamă de faptul că fluxul de dispersie este în realitate distribuit în lungul circuitului magnetic [2], [5], [6], [7]. *Scopul acestei lucrări este de a elabora sau extinde metode asemănătoare şi la circuitele cu magneţi permanenţi*, cu atît mai mult cu cît în acest caz cîmpul de dispersie are o pondere mărită.

În cele ce urmează ne vom referi la circuite magnetice cu magneţi permanenţi, admiţînd o simetrie axială, ca în figura 1. S-a notat cu *1* magnetul permanent, cu *2* armătura mobilă, cu *3* coloanele şi cu *4* jugul.

Cazul în care magnetul permanent ar fi plasat în locul jugului este mult mai simplu deoarece, în această situaţie, magnetul este străbătut de toate liniile fluxului de dispersie

* Dr. ing. *A. Cupşa* este şef de lucrări la Institutul politehnic Bucureşti, iar ing. Corina Boghiu este asistent stagiar la acelaşi institut.

și în consecință fluxul magnetic este constant în lungul magnetului. Or, la circuitele reprezentate în figura 1, se vede că fluxul magnetic

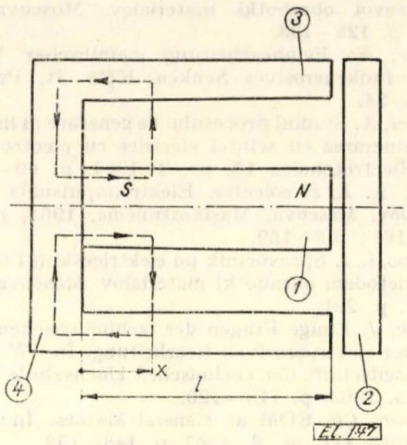


Fig. 1. Tipul de circuit magnetic studiat :
1 — magnetul permanent; *2* — armătura mobilă; *3* — coloanele; *4* — jugul.

într-o secțiune x a magnetului este variabil ca urmare a caracterului distribuit al fluxului de dispersie, fapt de care trebuie ținut seamă. Pe lîngă faptul că aceste circuite magnetice nu sînt studiate satisfăcător în literatură, studiul lor se impune și datorită răspîndirii mult mai mari pe care o au în practică. La dificultatea considerării caracterului distribuit al fluxului de dispersie, se adaugă și saturația magnetică. În funcție de gradul de saturație, în lucrare se dezvoltă două metode de calcul.

1. Metoda analitică (aplicabilă la circuite liniare)

1.1. Electromagnetul echivalent. Metoda analitică propusă se bazează pe faptul că fiecărui circuit cu magneți permanenți îi corespunde un circuit magnetic echivalent, cu înfășurare de excitație, pe care-l numim electromagnetul echivalent. Se consideră, astfel, circuitul simplu

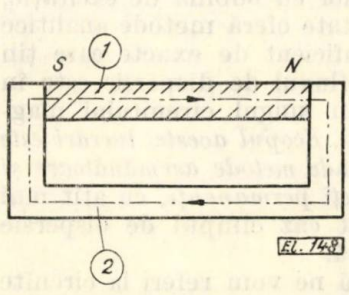


Fig 2. Circuit magnetic real cu magnet permanent :
1 — magnetul; *2* — jugul din fier moale.

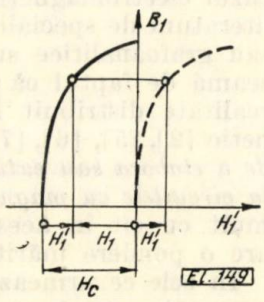


Fig. 3. Obținerea caracteristicii de magnetizare echivalente.

cu magneți permanenți din figura 2 și se notează cu H_1, H_2 și l_1, l_2 cîmpul magnetic, respectiv lungimile medii din cele două porțiuni; aplicînd legea circuitului magnetic pe conturul din figura 2, se obține :

$$H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 = 0. \qquad (1)$$

Translăm spre dreapta curba de demagnetizare a magnetului cu mărimea H_c (cîmpul coercitiv respectiv) ; se obține, conform figurii 3, o curbă trecînd prin origine și paralelă cu cea inițială (desenată întrerupt). Dacă se exprimă, conform figurii 3, mărimea H_1 în funcție de abscisa H_1' a curbei nou obținute

$$H_1 = H_1' - H_c \qquad (2)$$

și se înlocuiește această expresie în relația (1), rezultă :

$$H_2 l_2 + (H_1' - H_c) \cdot l_1 = 0, \text{ sau } H_2 l_2 + H_1' = H_c l_1. \qquad (3)$$

Relația (3) arată că circuitul real din figura 2 se reduce la circuitul magnetic echivalent reprezentat în figura 4, în care magnetul *1* se

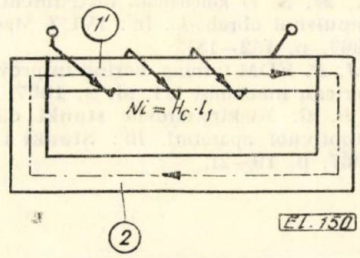


Fig. 4. Circuitul magnetic al electromagnetului echivalent.

înlocuiește cu bara *1'* de aceleași dimensiuni, avînd caracteristica de magnetizare B_1 (H_1') — dedusă ca în figura 3 — plus o bobină avînd solenația $Ni = H_c \cdot l_1$. Calculul circuitului magnetic real se va reduce deci la calculul unui

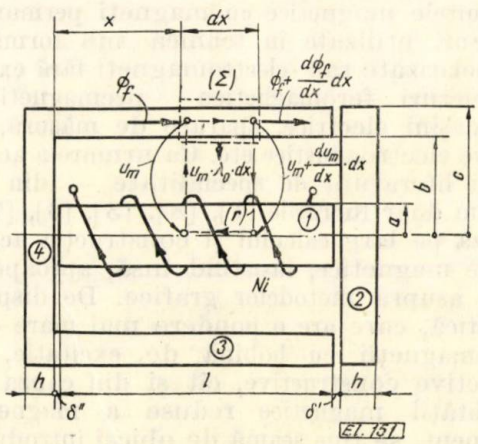


Fig. 5. Electromagnetul echivalent al circuitului liniar cu simetrie cilindrică.

circuit fictiv cu bobină de excitație, pe care-l numim *electromagnetul echivalent* [8].

În figura 5 s-a reprezentat electromagnetul echivalent circuitului din figura 1, la care

miezul *1*, jugul *4* și armătura *2* au secțiune circulară; coloana *3* are secțiune inelară. Se consideră că jugul, coloana și armătura au μ = const., iar permeabilitatea miezului echivalent corespunde pantei curbei de demagnetizare a magnetului, presupusă liniară ca în figura 6.

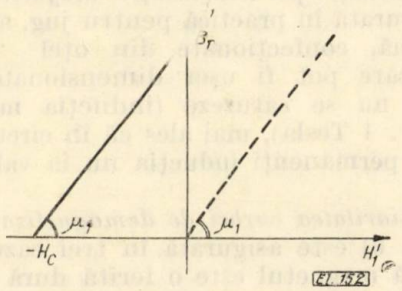


Fig. 6. Caracteristica de demagnetizare a magnetului utilizat.

Se admite fluxul de dispersie continuu distribuit în lungul coloanei $0 < x < l$ și se separă un element infinit mic, de lungime dx, conform figurii 5. Se adoptă următoarele notații și simboluri, în acord cu figura 5;

$u_m(x)$ — tensiunea magnetică prin aer, între coloană și miez, pentru secțiunea x;

$\Phi_f(x)$ — fluxul magnetic fascicular prin miez (coloană), în secțiunea x;

$r_1 = \dfrac{1}{\pi a^2 \mu_1}$ — reluctanța pe unitatea de lungime a miezului; (4)

$\lambda_0 = \dfrac{2\pi\mu_0}{\ln \dfrac{b}{a}}$ — permeanța specifică de dispersie între miez și coloană [5], [7]; (5)

$r_3 = \dfrac{1}{\pi (c^2 - b^2)\mu_3}$ — reluctanța pe unitatea de lungime a coloanei; (6)

$R'_\delta = \dfrac{\delta'}{\mu_0 \pi}\left[\dfrac{k_{u1}}{a^2} + \dfrac{k_{u2}}{c^2 - b^2}\right]$ — reluctanța celor două întrefieruri principale considerate în serie, ținînd seamă de cîmpul de umflări (de la capete) prin intermediul coeficientului de umflări k_u dat în [5], [7]; (7)

$R''_\delta = \dfrac{\delta''}{\mu_0 \pi a^2} k_{u3}$ — reluctanța întrefierului parazit, de asemenea ținînd seamă de umflări; (8)

$r_0 = r_1 + r_3$; (9)

— reluctanța armăturii în raport cu fluxul principal, calculată exact prin metoda separării variabilelor (anexa 4.1), unde k_n sînt zero-urile ecuației $J_1(x) = 0$, iar J_0 și J_1 sînt funcții Bessel;

$R_4 = R_2 \cdot \dfrac{\mu_2}{\mu_4}$ — reluctanța jugului, avînd aceeași formă ca R_2; (11)

$R' = R'_\delta + R_2$; (12)

$R'' = R''_\delta + R_4$. (13)

Scriind legea circuitului magnetic și legea fluxului magnetic pentru elementul infinitezimal din figura 5, se obține:

$$\begin{cases} \oint_\Gamma \overline{H} \cdot d\overline{r} = -u_m + r_0 \cdot dx \cdot \Phi_f + u_m + \dfrac{du_m}{dx} dx = \dfrac{N}{l} dx\, i \\ \oint_\Sigma \overline{B} \cdot d\overline{A} = -\Phi_f + \lambda_0 \cdot u_m \cdot dx + \dfrac{d\Phi_f}{dx} dx + \Phi = 0 \end{cases} \quad (14)$$

sau, altfel;

$$\begin{cases} \dfrac{d\Phi_f}{dx} + \lambda_0 u_m = 0 \\ \dfrac{du_m}{dx} + r_0 \Phi_f = \dfrac{N}{l} i \end{cases} \quad (14')$$

respectiv, dacă transformăm ecuațiile simultane în ecuații de ordinul doi

$$\begin{cases} \dfrac{d^2\Phi_f}{dx} - \lambda_0 r_0 \Phi_f = -\dfrac{Ni}{l} \lambda_0 \\ \dfrac{d^2 u_m}{dx^2} - \lambda_0 r_0 u_m = 0 \end{cases} \quad (14'')$$

Notînd:

$$\lambda_0 \cdot r_0 = \gamma^2 \quad \text{și} \quad r_0/\gamma = \xi, \quad (15)$$

soluția ecuațiilor (14'') are forma;

$$\begin{cases} u_m(x) = A_1 \operatorname{ch} \gamma x + A_2 \cdot \operatorname{sh} \gamma x \\ \Phi_f(x) = \dfrac{Ni}{lr_0} - \dfrac{1}{\xi}(A_1 \operatorname{sh} \gamma x + A_2 \operatorname{ch} \gamma x) \end{cases} \quad (16)$$

Constantele de integrare A_1 și A_2 se deduc din condițiile pe frontieră evidente:

$$\begin{cases} x = 0;\ u_m(0) = -R'' \cdot \Phi_f(0) \\ x = l;\ u_m(0) = R' \cdot \Phi_f(l) \end{cases} \quad (17)$$

$$R_2 = \frac{2}{c\pi\mu_2} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left[\frac{1}{k_n^2} \frac{J_1\left(k_n \cdot \dfrac{a^2}{c^2}\right) + \dfrac{b^2}{c^2 - b^2} \cdot J_1\left(k_n \cdot \dfrac{b^2}{c^2}\right)}{J_0^2(k_n) \cdot \operatorname{th}\left(k_n \cdot \dfrac{h}{c}\right)} \right] \left[1 - J_0\left(k_n \cdot \frac{c+b}{2c}\right)\right] \right\} \quad (10)$$

Introducînd relația (16) în (17), se obține:

$$\begin{cases} A_1 = \dfrac{Ni}{lr_0} \cdot \dfrac{-R'' \cdot \operatorname{sh}\gamma l + \dfrac{R'R''}{\xi}(1 - \operatorname{ch}\gamma l)}{\left(1 + \dfrac{R'R''}{\xi^2}\right)\operatorname{sh}\gamma l + \dfrac{R' + R''}{\xi}\operatorname{ch}\gamma l}; \\ A_2 = \dfrac{Ni}{lr_0} \cdot \dfrac{R' + R'' \operatorname{ch}\gamma l + \dfrac{R' + R''}{\xi}\operatorname{sh}\gamma l}{\left(1 + \dfrac{R'R''}{\xi^2}\right)\operatorname{sh}\gamma l + \dfrac{R'R''}{\xi}\operatorname{ch}\gamma l}. \end{cases} \quad (18)$$

Cu aceasta este determinată distribuția fluxului în orice secțiune a circuitului magnetic dacă înlocuim relația (18) în (16).

1.2. Fluxul util și forța portantă a circuitului cu magneți permanenți. În virtutea celor arătate la paragraful 1.1., dacă înlocuim Ni cu $H_c \cdot l$, se obțin ecuațiile de funcționare ale circuitului magnetic real, cu magneți permanenți. De obicei interesează aici fluxul util (din întrefier) și forța de atracție a armăturii (forța portantă); cu relațiile (16) și (18) rezultă:

$$\Phi_f(l) = \Phi_0 = \frac{H_c}{r_0} \cdot \frac{\operatorname{sh}\gamma l + \dfrac{R''}{\xi}(\operatorname{ch}\gamma l - 1)}{\left(1 + \dfrac{R'R''}{\xi^2}\right)\operatorname{sh}\gamma l + \dfrac{R' + R''}{\xi} \cdot \operatorname{ch}\gamma l}. \quad (19)$$

Spre a aprecia ponderea fluxului de dispersie, se prezintă și relația care s-ar obține dacă s-ar neglija dispersia. În acest scop este suficient să calculăm limita expresiei (19) pentru $\lambda_0 \to 0$, respectiv pentru $\gamma \to 0$, ținînd seamă că în același timp $\xi = \dfrac{r_0}{\gamma}$.

Se obține:

$$\Phi_0' = \lim_{\gamma \to 0} \Phi_0 = \frac{H_c}{r_0} \cdot \frac{l}{l + \dfrac{R' + R''}{r_0}} = \frac{H_c}{r_0} \cdot \frac{1}{1 + \dfrac{R' + R''}{lr_0}}. \quad (19')$$

Diferențele sînt sensibile: considerînd pe l ca variabilă, ambele expresii Φ_0 și Φ_0' variază monoton cu l, de la valoarea zero către o asimptotă. În timp ce pentru expresia (19) asimptota are valoarea $\dfrac{H_c}{r_0} \cdot \dfrac{1 + R''/\xi}{1 + \dfrac{R' + R''}{\xi} + \dfrac{R' \cdot R''}{\xi^2}}$, pentru expresia (19') valoarea corespunzătoare este $\dfrac{H_c}{r_0}$ adică mai mare. Cantitativ, diferențele se văd ușor în exemplul numeric (par. 1,4, fig. 7 și tabela 1).

Considerînd întrefierul δ' suficient de mic, forța portantă are următoarea expresie (anexa 4.2.):

$$F_p = \frac{\Phi_0^2}{2\mu_0\pi}\left[\frac{k_{u1}}{a^2} + \frac{k_{u2}}{c^2 - b^2}\right],$$

unde k_{u1} și k_{u2} sînt coeficienții de umflare amintiți.

1.3. Condițiile de valabilitate a rezultatului. Contrar aparențelor, ipoteza privind μ = const. și liniaritatea curbei de demagnetizare (fig. 6) nu sînt atît de restrictive cum s-ar crede la prima vedere. În adevăr:

a) *Constanța permeabilității magnetice* este ușor asigurată în practică pentru jug, armătură și coloană, confecționate din oțel sau fier moale, care pot fi ușor dimensionate, astfel încît să nu se satureze (inducția magnetică $< 0{,}8 \ldots 1$ Tesla), mai ales că în circuitule cu magneți permanenți inducția nu ia valori prea mari.

b) *Liniaritatea curbei de demagnetizare* adoptate (fig. 6) este asigurată în trei cazuri:

— dacă magnetul este o ferită dură izotropă [1];

— dacă magnetul este făcut din aliajele alnicoti 24/3,8 sau alnico VII, la care o bună parte din curba de demagnetizare (în jurul punctului de funcționare) este liniară;

— indiferent de materialul magnetului, dacă magnetizarea sa se face în exteriorul circuitului magnetic sau dacă electromagnetul lucrează cu întrefier variabil; în acest caz punctul de funcționare se va deplasa pe curba de revenire (corespunzînd unui ciclu reversibil de histerezis), care este de asemenea liniară. Dreapta din figura 6 va reprezenta în acest caz curba respectivă.

1.4. Aplicații numerice și verificări experimentale. Ca exemplu de calcul vom indica metoda de proiectare și experimentarea elementului magnetic (electromagnetul) al unui releu termic cu ferită. El se compune dintr-un miez magnetic 1 executat din ferită izotropă dură de bariu (tip I—I), la care s-au măsurat:

$$B_r = 0{,}12 \ T; \ H_c \cong 800 \text{ Oe} = 0{,}636 \cdot 10^5 \text{A/m}, \quad (21)$$

corespunzînd o permeabilitate $\mu_1 = 1{,}88 \cdot 10^{-6}$ H/m (fig. 6).

Coloana 3 și jugul 4 sînt executate prin strunjire din aceeași bară de OL38 la care

$$\mu_3 = \mu_4 = 3{,}82 \cdot 10^{-4} \text{ H/m} \quad (21')$$

Armătura 2 este executată dintr-o ferită izotropă moale de nichel-zinc (tip Niferit 3000) cu punct Curie coborît ($T_c = 80°C$), care admite o inducție maximă, $B_m = 0{,}23$ T și are — pentru $B \cong 0{,}1$ T — permeabilitatea:

$$\mu_2 = 4{,}77 \cdot 10^{-3} \text{ H/m}. \quad (21'')$$

Ea este confecționată din ferită cu punct Curie coborît, deoarece la depășirea temperaturii admisibile, armătura își pierde proprietățile magnetice și releul poate declanșa.

Pe baza unui calcul preliminar s-au fixat dimensiunile:

$$a = 7{,}15 \text{ mm}; \ b = 9{,}15 \text{ mm}; \ c = 9{,}65 \text{ mm}, \ h = 3 \text{ mm}, \quad (22)$$

iar în poziția închis s-au măsurat întrefierurile:

$$\delta' = \delta'' = 0{,}1 \text{ mm}. \quad (22')$$

Lungimea l urmează a fi determinată ulterior. Pe baza valorilor (22) și (22') s-au calculat după [5] și [7] coeficienții de umflări:

$$k_{u_1} = k_{u_3} = 0{,}988\,; \; k_{u_2} = 0{,}9. \quad (22'')$$

Se impune o forță portantă:

$$F_p = 0{,}250 \text{ kgf} = 2{,}45 \text{ N}. \quad (23)$$

Din relația (20) va rezulta fluxul util în întrefier:

$$\Phi_0 = \sqrt{\frac{2\pi\mu_0 \cdot F_p}{\frac{k_{u1}}{a^2} + \frac{k_{u2}}{c_2 - b_2}}} = 1{,}32 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}. \quad (23')$$

Se verifică inducțiile în diferite zone:

$$\left.\begin{aligned} B_1 &= \frac{\Phi_0}{\pi a^2} = 0{,}0865\ T < 0{,}12\ T\,; \\ B_3 &= \frac{\Phi_0}{\pi (c^2 - b^2)} = 0{,}445\ T < 0{,}8\ T \\ B_{2\,med} &= B_{4\,med} = \frac{\Phi_0}{\pi(a+b)h} = 0{,}0855 T < 0{,}2\,T \end{aligned}\right\} \quad (23'')$$

Cu aceste date se pot calcula toate mărimile care intervin în relația (19) și care au fost definite la paragraful 1.1. Se obține:

$$\left.\begin{aligned} r_1 &= 3{,}34 \cdot 10^9 \ (\text{H}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})\,; \\ \lambda_0 &= 3{,}2 \cdot 10^{-5} \ (\text{H/m})\,; \\ \gamma &= \sqrt{r_0 \lambda_0} = 330 \ (\text{m}^{-1})\,; \\ R'_\delta &= 294{,}4 \cdot 10^4 \ (\text{H}^{-1})\,; \\ R''_\delta &= 49{,}4 \cdot 10^4 \ (\text{H}^{-1})\,; \\ r_3 &= 0{,}9 \cdot 10^8 \ (\text{H}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}) \\ r_0 &= r_1 + r_3 = 3{,}43 \cdot 10^9 (\text{H}^{-1}\,\text{m}^{-1}) \\ \xi &= \frac{r_0}{\gamma} = 1{,}035 \cdot 10^7 \ (\text{H}^{-1}) \end{aligned}\right\} \quad (24)$$

Referitor la calculul reluctanței armăturii și jugului; deoarece seria care intervine în relația (10) este foarte convergentă, ne limităm la doi termeni. Primele două zero-uri ale ecuației $J_1(x) = 0$ sînt:

$$k_1 = 3{,}8317\,; \quad k_2 = 7{,}0156 \ [4]. \quad (25)$$

Luînd din tabele [4] valorile funcțiilor Bessel respective și înlocuindu-le în (10), se obține:

$$R_2 = 0{,}9864 \cdot 10^4 (\text{H}^{-1})\,; \; R_4 = 8{,}45 \cdot 10^4 (\text{H}^{-1}), \quad (25')$$

respectiv din relațiile (12) și (13):

$$R' = 295{,}38 \cdot 10^4 (\text{H}^{-1})\,; \; R'' = 57{,}85 \cdot 10^4 (\text{H}^{-1}). \quad (25'')$$

În aceste condiții, înlocuind valorile respective în relația (19), se poate deduce valoarea necesară a lungimii l a miezului care asigură valoarea necesară (23') a fluxului Φ_0, respectiv a forței portante $F_p = 0{,}250$ kgf. Pentru proiectare este util să se reprezinte grafic curba $\Phi_0 = f(l)$; la o valoare dată a lui Φ_0 (adică a lui F_p) rezultă imediat l. Cu aceasta proiectarea elementului magnetic este încheiată.

Tabela 1

l, mm	0	2	4	6	8	10	12	∞
$10^5 \cdot \Phi_0$, Wb	0	1,17	1,345	1,41	1,425	1,436	1,44	1,442
$10^5 \cdot \Phi'_0$, Wb	0	1,22	1,478	1,585	1,64	1,675	1,7	1,85

Datele respective au fost trecute în tabela 1, respectiv reprezentate în figura 7. Pentru

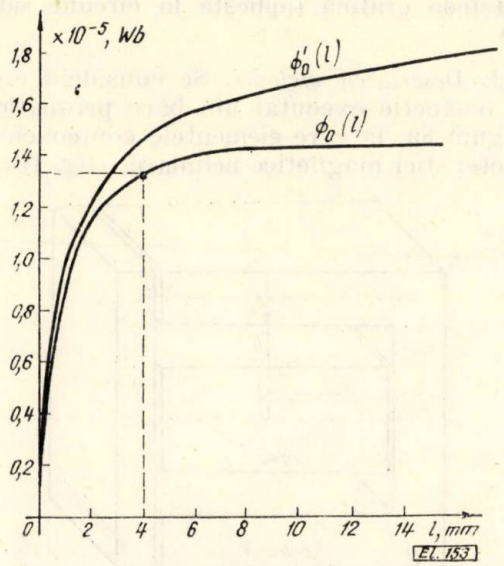


Fig. 7. Curbele $\Phi_0 = f(l)$ considerînd, respectiv neglijînd, dispersia.

comparație au fost reproduse și rezultatele obținute prin aplicarea relației (19'), care neglijează dispersia.

Pentru $\Phi_0 = 1{,}32 \cdot 10^{-5}$ Wb corespunde în cazul nostru

$$l \cong 4 \text{ mm}. \quad (26)$$

Se observă din figura 7 că mărirea excesivă a lungimii l peste o anumită limită (în cazul nostru 6 ... 7 mm) nu ar duce la o mărire sensibilă a fluxului (forței); dacă forța ar trebuie totuși mărită, soluția cea mai bună este de a mări raza magnetului a.

În același timp se observă o diferență pronunțată între cele două curbe, care consideră, respectiv neglijează, disperisa: această diferență crește o dată cu mărirea lui l atingînd pentru asimptote (la $l = \infty$) circa -22%

($\Phi_0 < \Phi_0'$, ceea ce este explicabil); pentru $l = 4$ mm (cazul nostru), diferența este de circa -10%. Trebuie avut în vedere că la calculul forței, unde intervine fluxul la pătrat, diferențele sînt mai mari.

La un lot de elemente identice, executate la uzina „Electroaparataj" s-a măsurat forța portantă — în poziția închis — pentru dimensiunile și materialele la care au fost făcute calculele. Față de valoarea impusă de 250 gf s-au obținut valori în plaja:

$$F_{pezp} = 230 \ldots 250 \text{ gf.} \qquad (27)$$

Această confirmare, surprinzător de exactă — verificată însă și la alte valori ale întrefierului principal δ' — arată justețea metodei propuse, cît și ponderea mică a ipotezelor simplificatoare adoptate, atîta vreme cît condițiile de la paragraful 1.3 sînt respectate.

2. Metoda grafică (aplicată la circuite saturate)

2.1. Descrierea metodei. Se consideră un circuit magnetic executat din bare prismatice ca în figura 8a, la care elementele componente au caracteristici magnetice neliniare (fig. 10). Din

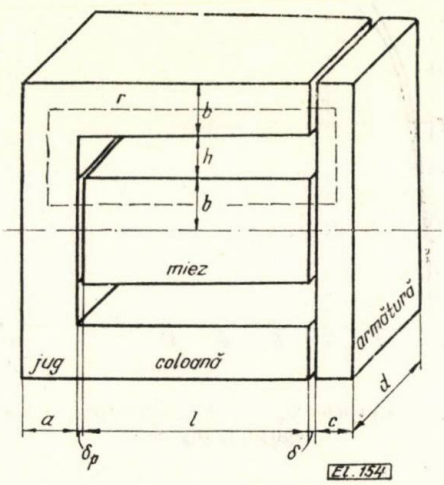


Fig. 8a. Circuitul magnetic neliniar executat din bare prismatice.

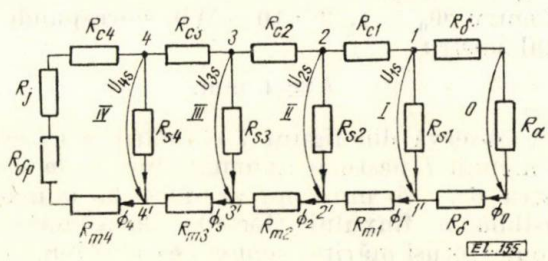


Fig. 8b. Schema echivalentă a circuitului magnetic studiat.

acest motiv un studiu analitic nu mai este posibil. Spre a ține seamă de caracterul distribuit al fluxului de dispersie dintre miez și coloană, împărțim lungimea l în $n = 4$ subintervale, fluxul de scăpări fiind concentrat în dreptul reluctanțelor de dispersie R_{s1} R_{s2} R_{s3} R_{s4}. Din motive de simetrie, calculul se poate referi la un contur Γ (fig. 8a), care corespunde la o jumătate de circuit magnetic. Se obține schema echivalentă din figura 8b, analog studiului liniilor lungi cu ajutorul unui lanț de cuadripoli.

S-au folosit următoarele notații: c — coloană; m — miez; j — jug; a — armătură; δ - întrefier

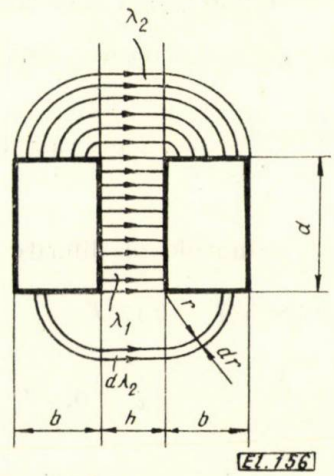


Fig. 9. Explicativă privind calculul permeanței de dispersie.

principal; δ_p — întrefier parazit; s — dispersie; u — util; 1, 2, 3, 4 — diversele intervale din figura 8b. Tensiunea magnetică o notăm cu u. Pentru a concretiza calculele, s-au adoptat următoarele dimensiuni ale circuitului magnetic:

$$\begin{cases} a = 10 \text{ mm}; \ b = 10 \text{ mm}; \ c = 7 \text{ mm}; \\ d = 20 \text{ mm}; \ h = 8 \text{ mm}; \ l = 44 \text{ mm} \\ \delta = \delta_p = 0{,}1 \text{ mm}. \end{cases} \qquad (28)$$

Calculul permeanței de dispersie dintre coloană și miez se face cu metoda aproximării liniilor de cîmp prin arce de cerc și segmente de dreaptă, conform figurii 9. Se obține pe unitate de lungime:

$$\lambda_0 = \lambda_1 + 2\lambda_2 = \mu_0 \frac{d}{h} + 2\mu_0 \int_0^b \frac{dr}{h + \pi r} = \\ = \mu_0 \left[\frac{d}{h} + \frac{2}{\pi} \ln\left(1 + \frac{\pi b}{h}\right) \right]. \qquad (29)$$

Pentru unul din intervale, de lungime $\frac{l}{4}$, permeanța de scăpări este:

$$\Lambda_{s1} = \Lambda_{s2} = \Lambda_{s3} = \Lambda_{s4} = \Lambda_s = \frac{1}{R_s} = \lambda \cdot \frac{l}{4}, \qquad (29')$$

respectiv cu datele numerice de mai sus:

$$\Lambda_s = 4{,}85 \cdot 10^{-8} \text{ H} \qquad (29'')$$

Similar, după [5] și [7], factorii de umflări ai cîmpului din întrefier:

$$k_u = 0{,}992. \tag{30}$$

Cu caracteristicile de material din figura 10 se poate începe efectiv calculul. El va avea cinci

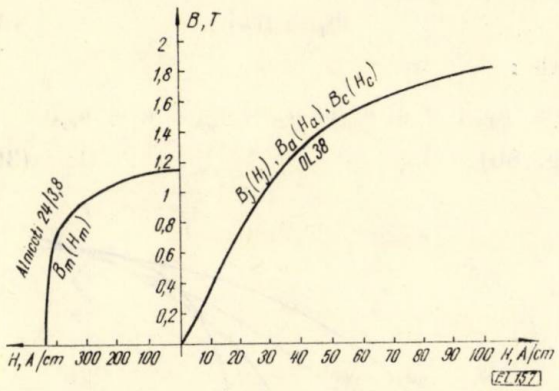


Fig. 10. Caracteristicile materialelor feromagnetice utilizate.

etape (corespunzînd celor cinci ochiuri care apar în fig. 8b) și se face din aproape în aproape, de la dreapta la stînga.

a) P r i m a e t a p ă (ochiul 0)

— se construiesc grafic curbele $\Phi_0 = f(u_\delta)$ și $\Phi_0 = f(u_a)$, adică:

$$\Phi_0 = d \cdot b \cdot B_\delta = d \cdot b \cdot \mu_0 H_\delta = \\ = d \cdot b \cdot \mu_0 \frac{u_\delta}{2\,\delta'} = \frac{d \cdot b \cdot \mu_0}{2\,b \cdot k_u} \cdot u_\delta; \tag{30'}$$

$$\Phi_0 = d \cdot b \cdot B_a = f(H_a \cdot l_a), \\ \text{unde } l_a = c + h + b \text{ (fig. 8a)}; \tag{30''}$$

— se adună grafic pe orizontală cele două curbe (fig. 11) și se obține:

$$\Phi_0 = f(\mu_{1s}), \tag{31'}$$

unde:

$$u_{1s} = u_\delta + u_a = u_\delta + H_a \cdot l_a; \tag{31''}$$

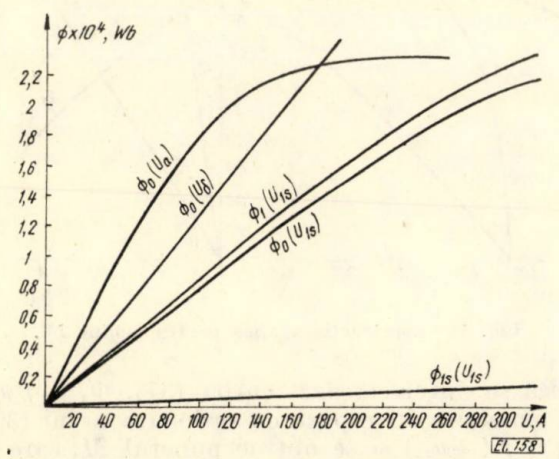


Fig. 11. Construcția grafică pentru ochiul 0.

— se construiește dreapta $\Phi_{1s} = f(\mu_{1s})$ corespunzînd fluxului de dispersie:

$$\Phi_{1s} = \Lambda_s \cdot u_{1s} \tag{32'}$$

și se adaugă grafic, pe verticală, conform relației $\Phi_1 = \Phi_{1s} + \Phi_0$ (fig. 8b) cu curba (31'). Se obține (fig. 11):

$$\Phi_1 = \Phi_{1s} + \Phi_0 = f(u_{1s}). \tag{32''}$$

b) A d o u a e t a p ă (ochiul I)

— în prealabil, utilizînd caracteristicile $B_c(H_c)$ și $B_m(H_m)$ din figura 10, se construiesc curbele — prin modificarea scării — $\Phi_1(u_{c1})$ și $\Phi_1(u_{1m})$:

$$\Phi_1 = b \cdot h \cdot B_c = f\left(H_c \cdot \frac{l}{4}\right); \tag{33'}$$

$$\Phi_1 = b \cdot h \cdot B_m = f\left(H_m \cdot \frac{l}{4}\right). \tag{33''}$$

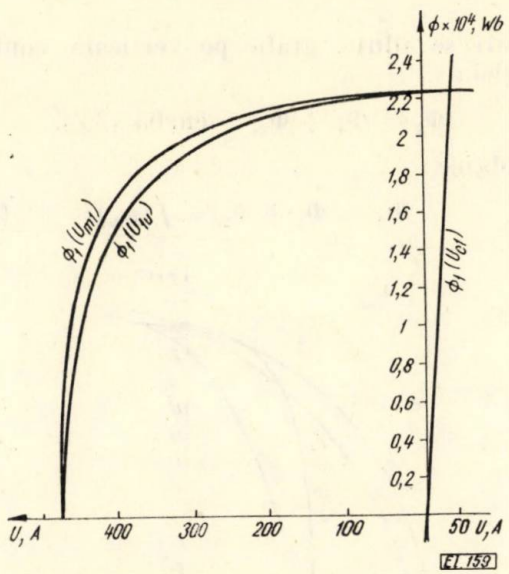


Fig. 12. Caracteristica $\Phi_1(u_{m1} + u_{c1})$ valabilă pentru ochiurile *I, II, III, IV*.

Ele se adună apoi pe orizontală, căci reluctanțele R_{m1} și R_{c1} sînt legate în serie în raport cu fluxul Φ_1. Se obține (fig. 12):

$$\Phi_1 = f(u_{1u}), \tag{34'}$$

unde:

$$u_{1u} = u_{c1} + u_{m1}. \tag{34''}$$

Menționăm că curba (34') este valabilă pentru toate ochiurile. Abia acum începe, propriu-zis, construcția pentru ochiul I (fig. 13);

— avînd curbele (34') și (32''), se adună pe orizontală și se obține:

$\Phi_1 = f(u_{2s})$, conform relației evidente din figura 8b; (35')

$$u_{2s} = u_{1s} + u_{1u} = u_{1s} + u_{c1} + u_{m1}; \tag{35''}$$

— se construiește dreapta $\Phi_{2s} = f(u_{2s})$:

$$\Phi_{2s} = \Lambda_s \cdot u_{2s}, \qquad (36')$$

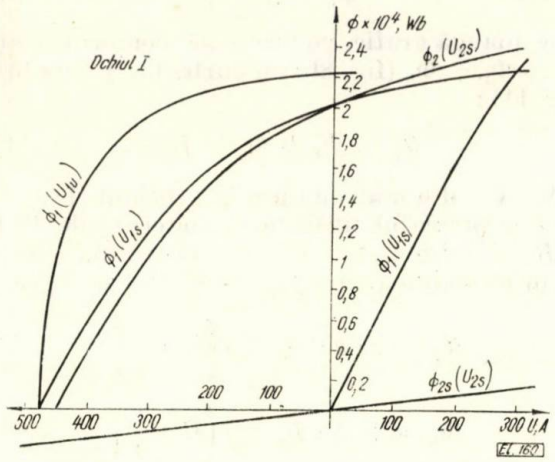


Fig. 13. Construcția grafică pentru ochiul *I*.

la care se adună grafic pe verticală, conform relației:

$$\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_{2s} = \text{curba } (35').$$

Se obține:

$$\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_{2s} = f(u_{2s}) \qquad (36'')$$

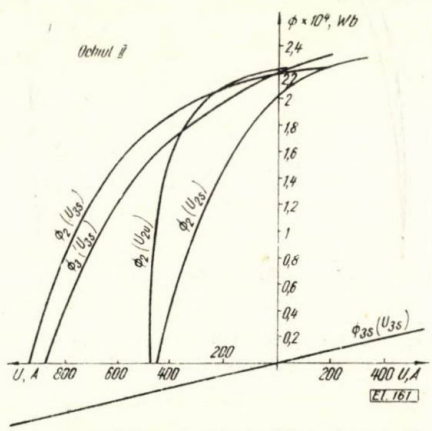


Fig. 14. Construcția grafică pentru ochiul *II*.

c) A treia etapă (ochiul II)
d) A patra etapă (ochiul III)

Ambele sînt absolut analoge etapei a doua, astfel că nu le mai descriem; este un simplu calcul de repetare în care se schimbă doar indicii 2 cu 3, 4 etc.

În final, se obține din figura 15 curba:

$$\Phi_4 = f(u_{4s}). \qquad (37)$$

e) A cincea etapă (ochiul IV)
— se trasează în figura 16 curbele:

$\Phi_4 = f(u_{4u})$, identică cu (34'); (38')

$\Phi_4 = f(u_j)$, la altă scară $B_j = f(H_j)$, (38'')

adică: $a \cdot d \cdot B_j = f(H_j \cdot l_j)$, unde $l_j = a + h + b$;

$\Phi_4 = f(u_{\delta p})$, la altă scară $B_{\delta p} = \mu_0 H_{\delta_1}$;

— se adună grafic pe orizontală cele trei curbe (corespunzînd celor patru reluctanțe $R_{\delta p}$, R_j, R_{c4} și R_{m4} legate în serie în raport cu fluxul Φ_4) și se obține curba:

$$\Phi_4 = f(u'_{4u}), \qquad (39')$$

unde:

$$u'_{4u} = u_{4u} + u_j + u_{\delta p} = u_{c4} + u_{m4} + u_j + u_{\delta p},$$

(fig. 8b); (39'')

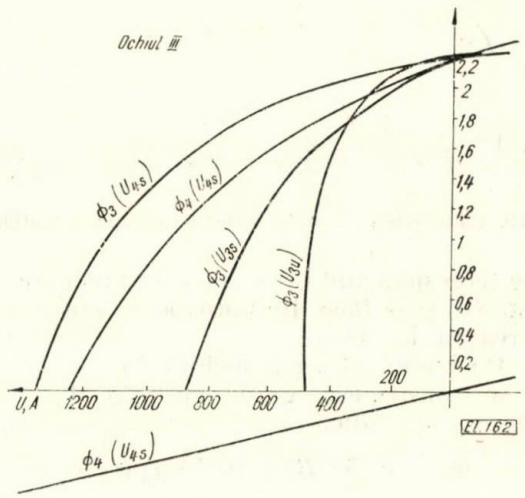


Fig. 15. Construcția grafică pentru ochiul *III*.

— în sfîrșit, se pune condiția evidentă din ochiul IV ca suma tensiunilor magnetice să fie nulă:

$$u'_{4u} = u_{4s} = 0, \qquad (40')$$

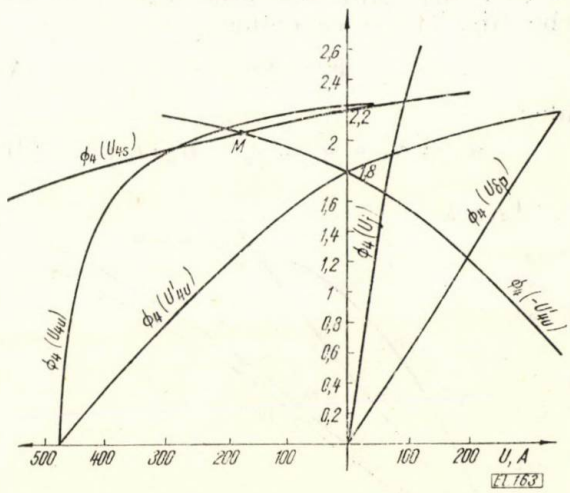


Fig. 16. Construcția grafică pentru ochiul *IV*.

adică se intersectează curba (37), $\Phi_4 = f(u_{4s})$, cu simetrica în raport cu ordonata a lui (39'), $\Phi_4 = f(-u'_{4u})$ și se obține punctul M, care dă valoarea căutată a lui Φ_4.

2.2. Discuția rezultatelor. a) Obținînd pe Φ_4, cum s-a arătat, se pot găsi și celelalte valori $\Phi_3\Phi_2\Phi_1\Phi_0$ prin întoarcerea înapoi pe curbele din figurile 15, 14, 13, 11, ținînd seamă de construcție. În cazul numeric considerat, rezultă:

$$\Phi_4 = 2{,}06 \cdot 10^{-4}\ \text{Wb};$$
$$\Phi_3 = 2{,}15 \cdot 10^{-4}\ \text{Wb};$$
$$\Phi_2 = 2{,}18 \cdot 10^{-4}\ \text{Wb}; \qquad (41)$$
$$\Phi_1 = 2{,}14 \cdot 10^{-4}\ \text{Wb};$$
$$\Phi_0 = 2{,}10^{-4}\ \text{Wb}.$$

b) Ca și la § 1.2 se compara aceste valori — care consideră dispersia repartizată în lungul circuitului magnetic — cu valoarea care s-ar obține neglijînd total dispersia ($\lambda_0 = 0$). În acest caz, din legea circuitului magnetic aplicată pe curba Γ din figura 8a, avem:

$$H_c l + 3\delta \cdot k_u \cdot H_\delta + l_j \cdot H_j + l_a \cdot H_a + l \cdot H_m = 0, \qquad (42)$$

unde:

$$\begin{cases} B_c = \dfrac{\Phi'_6}{bd} = f(H_c); \qquad H_\delta = \dfrac{\Phi'_0}{\mu_0\, bd}; \\ B_m = \dfrac{\Phi'_0}{bd} = f(H_m) \qquad (43) \\ B_a = \dfrac{\Phi'_0}{cd} = f(H_a); \qquad H_j = \dfrac{\Phi'_0}{ad} = f(H_j). \end{cases}$$

Ținînd seamă de curbele din figura 10 și efectuînd construcția grafică clasică, care rezultă din relațiile (42) și (43), se obține:

$$\Phi'_0 = 2{,}22 \cdot 10^{-4}\ \text{Wb}. \qquad (44)$$

c) Comparînd valorile (41) și (44), se impun următoarele concluzii:

— datorită dispersiei, fluxul în lungul circuitului magnetic variază destul de pronunțat, variație care se mărește cu creșterea saturației;

— fluxul în întrefier Φ'_0 obținut prin neglijarea dispersiei (44) este, ca și la punctul 2, cu circa 11% mai mare față de valoarea corespunzătoare (41) dedusă prin considerarea dispersiei; la calculul forței portante ar rezulta o diferență de circa 22%;

— calculul numeric de față s-a făcut pentru poziția închisă a armăturii, cînd lățimea ferestrei h este mult mai mare decît întrefierul principal δ și deci scăpările sînt mai reduse. Deși metoda propusă comportă relativ multe construcții grafice, ea este absolut necesară atunci cînd dispersia joacă un rol pronunțat (circuitul magnetic puternic saturat sau $h = \delta$ ca ordin de mărime), deoarece altfel se pot obține ușor diferențe de 20—30% la fluxul util, respectiv 40—70% la forța portantă.

3. Observații finale

Lucrarea a urmărit elaborarea unor metode de calcul a circuitelor magnetice cu magneți permanenți, realizate sub forma unui miez magnetic central de lungime l închis printr-un jug, coloane și armătură din materiale magnetice moi.

Într-o primă metodă, analitică, aplicabilă la circuite cu caracteristici magnetice liniare, s-a extins pe baza electromagnetului echivalent, calculul analitic exact, care consideră dispersia continuu distribuită, la circuitele cu magneți permanenți; s-a calculat reluctanța unei armături (sau jug) sub forma unui disc utilizînd integrarea ecuației lui Laplace, prin separarea variabilelor; s-a elaborat o metodă de proiectare, și s-a comparat cantitativ rezultatele obținute teoretic cu rezultatele unei serii de verificări experimentale.

Într-o a doua metodă, grafică, aplicabilă la circuite saturate executate din bare prismatice s-a dezvoltat calculul grafic din aproape în aproape — care ține seamă de caracterul distribuit al dispersiei prin divizarea lungimii l într-un număr cît mai mare de subintervale — al circuitelor magnetice analizate; s-au precizat, pe baza unor aplicații numerice concrete, condițiile în care o astfel de metodă — cu un volum relativ mare de construcții grafice — este justificată de rezultatele obținute.

ANEXE

1. Calculul reluctanței unei armături circulare. Se consideră o armătură circulară, străbătură de flux magnetic, ca în figura 17. Presupunînd materialul liniar, rezultă:

$$\text{rot}\, \boldsymbol{H} = 0;\ \text{rot}\, \frac{\boldsymbol{B}}{\mu} = 0 \rightarrow \boldsymbol{B} = -\,\text{grad}\, V$$
$$\text{div}\, \boldsymbol{B} = 0 \rightarrow \boxed{\Delta V = 0} \qquad (45)$$

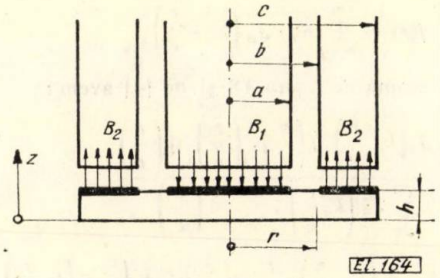


Fig. 17. Explicativă pentru calculul reluctanței armăturii.

Întrucît există simetrie cilindrică, ecuația (45) în coordonate cilindrice r și z ia forma:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial r} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0. \qquad (46)$$

Se caută o soluție de forma :

$$V(r, z) = R(r) \cdot Z(z). \tag{47}$$

Înlocuind (47) în (46), se obțin două ecuații diferențiale ordinare

$$\frac{R''}{R} + \frac{1}{r}\frac{R'}{R} = -\lambda^2 \quad \text{și} \quad \frac{Z''}{Z} = \lambda^2, \tag{48}$$

care admit ca soluții :

$$\left.\begin{aligned} Z_\lambda &= A_\lambda \cdot \operatorname{ch} \lambda_z + B_\lambda \cdot \operatorname{sh} \lambda_z \\ R_\lambda &= C_\lambda \cdot J_0(\lambda_r) + D_\lambda \cdot Y_0(\lambda_r) \end{aligned}\right\} \tag{49}$$

Condițiile pe frontieră, admițînd că $\mu >> \mu_0$, sînt evidente (fig. 17 și 18) :

$$z = c\,;\ r = \text{arbitrar} :\ B_z = -\frac{\partial V}{\partial z} = 0, \tag{50}$$

$$r = c\,;\ z = \text{arbitrar};\ B_r = -\frac{\partial V}{\partial r} = 0, \tag{51}$$

$$z = h\,;\ r = \text{arbitrar} :\ B_z = -\frac{\partial V}{\partial z} = f(r) \begin{cases} -B_1\,;\ r \leqslant a \\ 0\,;\ a < r < b \\ B_2\,;\ b \leqslant r \leqslant c \end{cases} \tag{52}$$

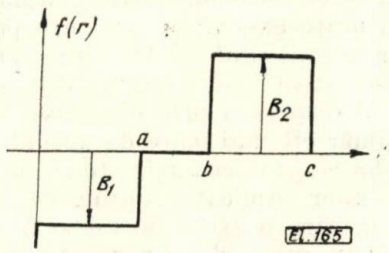


Fig. 18. Variația inducției magnetice normale pe suprafața $z = h$.

Introducînd (49) în (50) și (51), rezultă :

$$-\lambda \cdot B_\lambda = 0 \rightarrow B_\lambda = 0, \tag{53}$$

$$\lambda \cdot J_1(\lambda c) = 0 \rightarrow \lambda c = k_n, \tag{54}$$

unde k_n sînt zerourile ecuației $J_1(x) = 0$; $k_0 = 0$; $k_1 = 3{,}8317$; $k_2 = 7{,}0151$ etc. [4]. Avem deci :

$$V = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cdot \operatorname{ch}\left(k_n \cdot \frac{z}{c}\right) \cdot J_0\left(k_n \frac{r}{c}\right), \tag{55}$$

$$f(r) = \sum_{n=0}^{\infty} K_n \cdot J_0\left(k_n \cdot \frac{r}{c}\right). \tag{56}$$

Ținînd seamă de figura 18 și de [4] avem :

$$K_n = \frac{\int_0^1 J_0\left(k_n \frac{r}{c}\right) \cdot f\left(\frac{r}{c}\right) \cdot \left(\frac{r}{c}\right) \cdot \mathrm{d}\left(\frac{r}{c}\right)}{\int_0^0 J_0^2\left(k_n \frac{r}{c}\right) \cdot \frac{r}{c}\ \mathrm{d}\left(\frac{r}{c}\right)} =$$

$$= \frac{-B_1 \cdot \int_0^{a/c} J_0\left(k_n \cdot \frac{r}{c}\right) \cdot \frac{r}{c} \cdot \mathrm{d}\left(\frac{r}{c}\right) + B_2 \int_{b/c}^1 J_0\left(k_n \frac{r}{c}\right) \cdot \frac{r}{c} \cdot \mathrm{d}\left(\frac{r}{c}\right)}{\frac{1}{2} J_0^2(k_n)} =$$

$$= -\frac{2}{k_n} \cdot \frac{B_1 \cdot \left(\frac{a}{c}\right)^2 \cdot J_1\left(k_n \cdot \frac{a^2}{c^2}\right) + B_2 \left(\frac{b}{c}\right)^2 \cdot J_1\left(k_n \cdot \frac{b^2}{c^2}\right)}{J_0^2(k_n)},$$

dacă se are în vedere că $J_1(k_n) = 0$ și :

$$\int_0^1 J_0(\mathrm{d}x) \cdot x \cdot \mathrm{d}x = \frac{J_1(\alpha)}{\alpha}.$$

Ținînd seamă că $J_0(0) = 1$ și $k_0 = 0$, rezultă din (57) că $K_0 = 0$ la numărător rămîne $-B_1 \cdot \pi a^2 + B_2 \cdot \pi (c^2 - b^2) = 0$, conform legii fluxului magnetic. Deci, în sumele care intervin la (55) și (56), indicele n va lua valorile : 1, 2, 3 ..., ∞. Cu expresia (58) pentru K_n, identificînd (56) cu mărimea $-\left.\frac{\partial V}{\partial z}\right|_{z=h}$ calculată din (55), se obține :

$$C_n = \frac{2c}{k_n^2} \cdot \frac{\left(\frac{a}{c}\right)^2 \cdot B_1 \cdot J_1\left(k_n \frac{a^2}{c^2}\right) + \left(\frac{b}{c}\right)^2 \cdot B_2 \cdot J_1\left(k_n \cdot \frac{b^2}{c^2}\right)}{J_0^2(k_n) \cdot \operatorname{sh}\left(k_n \cdot \frac{h}{c}\right)},$$

respectiv :

$$V(r, z) =$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{2c}{k_n^2} \cdot \frac{\left(\frac{a}{c}\right)^2 \cdot B_1 \cdot J_1\left(k_n \frac{a^2}{c^2}\right) + \left(\frac{b}{c}\right)^2 \cdot B_2 \cdot J_1\left(k_n \cdot \frac{b^2}{c^2}\right)}{J_0^2(k_n) \cdot \operatorname{sh}\left(k_n \cdot \frac{h}{c}\right)} \right] \cdot$$

$$\cdot \operatorname{ch}\left(k_n \frac{z}{c}\right) \cdot J_0\left(k_n \frac{r}{c}\right) \tag{60}$$

deoarece $D_\lambda = 0$ (avînd în vedere că $Y_0(0) = \infty$). Constantele de integrare C_n se deduc utilizînd relația (52). Funcția $f(r)$ se poate descompune în serie Fourier de funcții proprii (Bessel)

Dacă notăm :

$$B_1 = \frac{\Phi_0}{\pi a^2}\ ; \quad B_2 = \frac{\Phi_0}{\pi (c^2 - b^2)}, \tag{61}$$

unde Φ_0 este fluxul magnetic fascicular ce străbate armătura, expresia reluctanței armăturii este :

$$R = \frac{V_1(z = h\,;\ r = 0) - V_2\left(z = h\,;\ r = \frac{c + b}{2}\right)}{\mu \Phi_0} =$$

$$= \frac{2}{\pi \mu c} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{k_n^2} \frac{J_1\left(k_n \frac{a^2}{c^2}\right) + \frac{b^2}{c^2 - b^2} J_1\left(k_n \frac{b^2}{c^2}\right)}{J_0^2(k_n) \cdot \operatorname{th}\left(k_n \frac{h}{c}\right)} \right] \times$$

$$\times \left[1 - J_0\left(k_n \frac{c+b}{2c}\right)\right]. \tag{62}$$

Menționăm că seria (62) este rapid convergentă. La deducerea acestei formule s-a considerat automat că $\mu >> \mu_0$ acest lucru se reflectă în condițiile de frontieră (50), (51) și (52), care sînt riguros valabile cînd $\mu = \infty$.

2. Calculul forței portante ținînd seamă de umflări. Să considerăm doi poli magnetici în prelungire, separați printr-un întrefier δ, ca în figura 19. Dacă notăm cu A secțiunea unui pol și A'_{med} secțiunea medie a tubului de flux din întrefier, este clar că :

$$\frac{\Lambda_0}{\Lambda_\delta} = \frac{A}{A'_{med}} = k_u < 1, \tag{63}$$

unde $\Lambda_0 = \mu_0 \frac{A}{\delta}$ și Λ_δ = permeanța reală a întrefierului.

Coeficientul k_u este tabelat [5], [7]. Dacă notăm $W_{m\delta}$ energia magnetică din întrefier, avem :

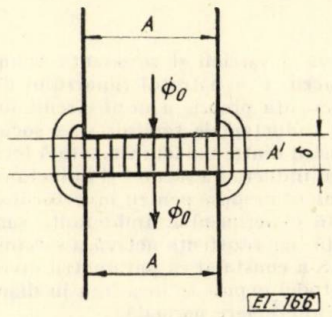


Fig. 19. Explicativă ilustrînd umflările de flux din întrefier.

$$W_{m\delta} = \int_{\delta} \frac{\boldsymbol{BH}}{2}\,\mathrm{d}v = \frac{1}{2}\int_0^{\delta} H \cdot \mathrm{d}x \int_{A'} B \cdot dA =$$

$$= \frac{u_{m\delta}\cdot\Phi_0}{2} = \frac{\Phi_0^2}{2\Lambda_\delta} = \frac{\Phi_0^2}{2\Lambda_0}\,k_u. \qquad (64)$$

Din teorema forţelor lagrangeiene rezultă forţa portantă (de atracţie) :

$$F_p = \left|\left(-\frac{\partial W_{m\delta}}{\partial \delta}\right)_{\Phi_0}\right| = \frac{\Phi_0^2}{2}\cdot\frac{\partial}{\partial\delta}\left(\frac{k_u}{\Lambda_0}\right) \cong \frac{\Phi_0^2}{2\mu_0 A}\cdot k_u. \qquad (65)$$

În deducerea relaţiei (65) — mai exactă ca formula lui Maxwell, care nu ţine seama de umflări — s-a considerat ntrefierul δ mic, adică s-a neglijat variaţia lui k_u cu δ.

Bibliografie

[1] *Cedigian, S.* Ferite. Bucureşti, Editura tehnică, 1966
[2] *Hortopan, G.* Curs de aparate electrice. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1967.
[3] *Hadfield, D.* Permanent magnets and magnetism. London, Iliffe Booke Ltd., 1962.
[4] *Janke-Emde-Lösch.* Tafeln Höherer Funktionen. Suttgart, B. G. Teubner, 1960.
[5] *Liubcik, M.* Electromagneţi de c. c. şi c. a. Bucureşti, Editura tehnică, 1963.
[6] *Rădulef, R.* Culegere de probleme de electrotehnică. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1964.
[7] *Roters, H.* Electromagnetic devices. New York, John Wiley, 1941.
[8] *Hortopan, V.* Stabilirea caracteristicilor magneţilor permanenţi. În : Electrotehnica, nr. 4, 1966.

Intrat în redacţie la 23.IX.1968

RECENZII

621.372.061.2

A. F. Beleţchi. **Bazele teoriei circuitelor electrice liniare** (Osnovî teorii lineinîh electriceskih ţepei). Moscova, 1968.

Pe cuprinsul a 21 de capitole se dezvoltă teoria circuitelor electrice liniare, insistîndu-se atît asupra aspectelor fizice, cît şi asupra bazelor matematice.

Nu sînt trecute cu vederea posibilităţile de folosire a teoriei grafurilor la studiul circuitelor electrice.

În primele patru capitole se fac consideraţii asupra legilor şi teoremelor aplicate la circuite elementare, asupra oscilaţiilor libere şi întreţinute care apar în circuitele studiate şi asupra fenomenelor ce apar în cazul alimentării în curent continuu a circuitelor electrice liniare. Prezentarea metodelor de calcul şi rezolvare a circulaţiei de curenţi se face succint, începîndu-se cu baza teoretică şi se încheie cu exemple semnificative care înlesnesc urmărirea şi înţelegerea problemelor.

Capitolele al cincilea, al şaselea şi al şaptelea cuprind consideraţii asupra oscilaţiilor circuitelor electrice în cazul alimentării cu tensiuni de diferite forme. Astfel se arată modul de variaţie al căderii de tensiune în circuitele echipate cu inductanţă, capacitate şi rezistenţă combinate în mod corespunzător situaţiilor întîlnite frecvent.

În capitolele al optulea şi al nouălea autorul prezintă ecuaţia integrodiferenţială sub forma ei generală pentru circuite electrice complete în care apar capacităţi, inductanţe şi conductanţe. Demonstraţia se face pe două căi, iar aplicaţiile arată modul de simplificare a ecuaţiei integrodiferenţiale pentru circuite electrice simple şi cu constante concentrate.

Consideraţiile asupra oscilaţiilor din circuitele electrice cu constante concentrate, cît şi metodele de rezolvare a acestor tipuri de scheme fac obiectul capitolului al zecelea.

În capitolul al unsprezecelea şi al doisprezecelea se prezintă metodele de analiză a oscilaţiilor armonice din circuitele electrice liniare. Se arată modul de calcul al puterilor electrice active, reactive şi aparente. Se insistă asupra aplicării metodelor de rezolvare a circuitelor electrice liniare cu ajutorul metodei simbolice.

Analiza structurii spectrului oscilaţiilor se face în capitolul al treisprezecelea. Capitolul al patrusprezecelea se ocupă de metodele de analiză a frecvenţei oscilaţiilor circuitelor electrice. Oscilaţiile în circuitele electrice cu parametri uniform distribuiţi şi în linii electrice fără pierderi se dezvoltă în capitolele al cinsprezecelea şi al şaisprezecelea. Teoria cuadripolilor şi a dipolilor este redată în capitolele al şaptesprezecelea şi al nouăsprezecelea. În capitolul al optsprezecelea se prezintă criteriile pentru analiza circuitelor electrice, insistîndu-se în mare parte asupra bazei matematice.

În ultimele două capitole ale cărţii autorul face incursiuni în metodele moderne de rezolvare a cuadripolilor, prezentînd o serie de exemple utile pentru practică. Autorul reuşeşte ca într-un număr relativ mic de pagini să prezinte o microsinteză a multiplelor probleme pe care le arată conţinutul.

De remarcat că fiecare problemă principală este formulată matematic pe baza unor circuite electrice liniare prevăzute, fie cu constante concentrate, fie cu constante uniform distribuite. Deşi prezentarea problemelor este succintă, totuşi nu se pierde din vedere esenţialul, atît sub aspect matematic, cît şi fizic.

Comentariile ce se fac la fiecare metodă prezentată şi aplicată uşurează urmărirea şi înţelegerea fenomenelor. În fiecare capitol se trasează o serie de grafice care subliniază concluziile cercetărilor întreprinse şi prezentate de autor. Demonstraţiile riguroase cuprinse în diverse capitole duc la relaţii de calcul complete, care apoi sînt simplificate în anumite condiţii impuse la analiză circuitelor studiate.

Nivelul prezentării problemelor, acurateţea studiului, modelele matematice riguroase şi aspectele fizice clare recomandă cartea, atît specialiştilor care studiază aspectele teoretice ale circuitelor electrice liniare, cît şi celor ce se ocupă cu aspectele practice.

A. Carabulea

REFERATE

CZ 621.314 *Transformarea energiei electrice*

CZ 621.314.14.001.5

Labuntov, V. A. ş.a. **Procese de comutaţie în convertoare tiristorizate cu comutaţie capacitivă** (Kommutaţionnîie protessî v tiristornîh preobrazovateliah). În : Elektrotehnika, vol. **39**, nr. 10, 1968, p. 42—45, 4 fig., 5 ref. bibl.

În circuitele cunoscute pînă în prezent care folosesc comutarea capacitivă forţată, aceasta din urmă poate fi paralelă, în cazul cînd condensatorul în prealabil încărcat, avînd rolul de sursă de tensiune pentru comutare, este conectat în paralel pe tiristorul ce trebuie stins sau pe sarcină, şi serie, cînd condensatorul este legat în serie cu tiristorul şi sarcina. În articol se prezintă rezultatele investigaţiilor teoretice privind procesele ce au loc în schemele cu comutare capacitivă în două trepte ale tiristoarelor. Autorii propun şi o clasificare proprie a acestora, clasificările precedente fiind după părerea lor nesatisfăcătoare. De asemenea se efectuează şi o clasificare a metodelor de comutare capacitivă a tiristoarelor.

Analiza circuitelor de comutaţie ale contactoarelor statice de curent continuu cu tiristoare se efectuează prin metoda planului fazorial. Această metodă permite analizarea diverselor scheme şi obţinerea relaţiilor analitice principale. Sînt astfel obţinute expresii ale caracteristicilor de reglare şi comutare pentru circuitele analizate. Se arată că circuitele cu comutare forţată serie permit realizarea diapazonului maxim de reglare a tensiunii prin comandă pe orizontală, folosind separarea contururilor şi a curentului de sarcină. În acelaşi timp însă, la aceleaşi valori ale parametrilor de comutare, această metodă oferă un timp relativ mic de restabilire a capacităţii de comandă. Acest ultim aspect, deloc neglijabil, poate constitui o piedică serioasă pentru folosirea metodei de comutare în serie la frecvenţe înalte.

Se subliniază un aspect energetic esenţial al proceselor studiate. În toate circuitele care folosesc pentru comutare un circuit oscilant, înmagazinarea energiei în elementele de comutaţie se produce în mod inevitabil. La o tensiune scăzută de alimentare acest fenomen poate fi folosit pentru îmbunătăţirea caracteristicilor de comutare, în schemele cu comutaţie serie.

A.S.

CZ 621.314.5.001.34

Ivenski, G. V. şi Buranov, S. A. **Calculul inginerese al invertorului monofazic serie cu sarcină rezitivo-inductivă** (Injenernîi rasciot odnofaznovo posledovatelnovo invertora, rabotaiuşcevo na aktivnoinduktivnuiu nagruzku). În : Elektromehanika, izv. VUZ, nr. 10, 1968, p. 1 100—1 107, 8 fig., 3 ref. bibl.

Pentru invertoarele autonome, adică invertoarele care nu au în reţeaua receptoare surse de energie activă (de exemplu, generatoare sincrone), este deosebit de indicat regimul de curent discontinuu. În acest regim, curentul anodic al tiristoarelor creşte şi scade lin, fapt ce duce la micşorarea supratensiunilor ce apar în scheme şi accelerează restabilirea capacităţii de comandă a tiristoarelor. Creşterea lină a curentului de sarcină la deschiderea tiristoarelor are o importanţă deosebită la invertoarele tiristorizate, avînd drept consecinţă directă creşterea fiabilităţii tiristoarelor. Un alt avantaj al regimului de curent discontinuu rezidă în mărirea intervalului de timp afectat restabilirii capacităţii de comandă a tiristoarelor.

Autorii prezintă o metodă de calcul pentru acest regim de funcţionare al invertorului serie tiristorizat. Calculul se efectuează pe baza unor grafice obţinute în lucrare, care ilustrează dependenţa curenţilor şi tensiunilor din invertor, precum şi a unghiurilor minime de blocare la pornire de trei parametri, fără dimensiuni : D, F, N. Parametrul D este raportul dintre rezistenţa activă a sarcinii şi rezistenţa condensatorului pe frecvenţa de lucru, F — pătratul raportului dintre frecvenţa de lucru şi frecvenţa proprie a unui circuit ideal, format de condensator şi inductanţele sarcinii şi a şocului de intrare, iar N este raportul dintre inductanţa totală formată de inductanţa sarcinii cu inductanţa şocului şi inductanţa sarcinii.

Metoda de calcul propusă pentru invertorul serie monofazic a fost verificată experimental. Inductanţa sarcinii era menţinută constantă, iar rezistenţa activă a sarcinii varia într-un diapazon larg. S-a constatat că parametrii invertorului calculat pe baza metodei expuse se încadrau în diapazon de valori care atestă o funcţionare normală.

Metoda de calcul prezentată în lucrare poate fi folosită şi în cazul cînd în timpul funcţionării invertorului, variază nu numai rezistenţa activă a sarcinii, ci şi inductanţa de sarcină. Autorii indică modificările ce trebuie aduse metodei expuse pentru a o folosi şi în acest caz. *A.S.*

Z 621.314.572

Serdiuk, Iu. V. **Influenţa induetanţelor transformatorului din anod asupra regimului de lueru al invertorului-serie tiristorizat** (Vliianie induktivnostei anodnovo transformatora na rejim rabotî posledovatelnovo tiristornovo invertora). În : Elektricestvo, nr. 9, 1968, p. 76—77, 4 fig., 4 ref. bibl.

Este investigată problema influenţei transformatorului de adaptare din anodul tiristorului asupra regimului de lucru al invertorului-serie tiristorizat. Se arată că introducerea transformatorului de adaptare în anod duce la modificarea sensibilă a unor parametri principali ai invertorului-serie, cum ar fi : valorile tensiunii directe şi inverse pe tiristoare, timpul de restabilire a capacităţii de blocare (de comandă) al tiristoarelor, viteza de variaţie a tensiunii şi a curentului etc.

Gradul de variaţie a acestor parametri este determinat de raportul valoric existent între rezistenţa de sarcină, inductanţa transformatorului din anodul tiristorului şi inductanţa circuitului de sarcină al invertorului. În cadrul analizei calitative şi cantitative a proceselor determinate de existenţa transformatorului de adaptare în anodul tiristorului, autorii au relevat cîteva aspecte caracteristice unor raporturi specifice dintre mărimile arătate.

S-a subliniat influenţa deosebită pe care o exercită inductanţa transformatorului de adaptare asupra regimului invertorului-serie la frecvenţe ridicate, precum şi în cazul creşterii puterii la ivirea invertorului.

Sînt prezentate formule de calcul şi grafice, care permit să se efectueze o evaluare preliminară a influenţei exercitate de transformatorul de adaptare din anod asupra unor regimuri de lucru concrete ale invertorului-serie cu tiristoare.

A.S.

CZ 621.314.572

Donskoi, A. V. şi Kulik, V. D. **Analiza funcţionării invertorului-serie cu tiristoare comandat de sarcină** (Analiz rabotî samovozbujdaiuşcevo posledovatelnovo invertora na tiristora). În : Elektricestvo, nr. 10, 1968, p. 69—72, 4 fig., 5 ref. bibl.

Invertoarele tiristorizate cu comandă independentă cunoscute pînă în prezent au o serie de dezavantaje substanţiale, care limitează considerabil domeniul lor de utilizare. Astfel, utilizarea lor la frecvenţe ridicate de lucru este îngreuiată, datorită timpului relativ scurt pe care îl oferă tiristoarelor pentru restabilirea capacităţii lor de comandă. Pe de altă parte, la valori mari ale factorului de calitate Q, care caracterizează circuitul oscilant, coeficientul de utilizare în curent al tiristoarelor scade simţitor. Aceste două dezavantaje, dintre cele mai esenţiale, dispar însă, în cazul folosirii invertorului-serie tiristorizat, comanda căruia este efectuată de sarcină. Se analizează unele aspecte principale ale regimului de funcţionare specific invertorului de acest tip. Se arată că

valoarea coeficientului de utilizare în putere K_w al tiristoarelor, pentru varianta în puncte a invertorului pentru un diapazon larg de variație al factorului de calitate Q, este cuprins între 0,42 și 0,482, în timp ce în cazul invertorului cu comandă independentă același parametru are valori de numai 0,2—0,45.

Analiza efectuată a demonstrat că tensiunile maxime pe condensator și pe sarcină la valori mari ale factorului de calitate Q pot să depășească considerabil valoarea tensiunii de alimentare.

Investigațiile experimentale descrise au confirmat rezultatele analizei preliminare. *A.S.*

CZ 621.316 *Distribuția energiei electrice*

CZ 621.316.93.001.8

Onufrienko, Iu. I. și Șklovski, I. G. **Protecția convertoarelor semiconductoare de putere** (Zașcita moșcinîh poluprovodnikovîh preobrazovatelei). In: Elektrotehnika, nr. 10, 1968, p. 25—26, 7 fig.

În prezent protecția dispozitivelor semiconductoare de putere la supratensiuni se efectuează prin mărirea numărului de elemente legate în serie, precum și prin folosirea grupurilor de protecție RC. Se folosesc de asemenea și elemente semiconductoare, cum ar fi diodele de avalanșă, dar acestea nu pot disipa decît valori reduse ale puterii.

Protecția la supracurenți nu satisface în momentul de față exigențele mereu crescînde ale siguranței în funcționare a instalațiilor de putere. În cele mai multe dintre cazurile practice, protecția la supracurenți se efectuează cu ajutorul siguranțelor. Dar de multe ori această protecție nu este satisfăcătoare, în special în cazul tiristoarelor, care uneori nu sînt atît de sensibile la valori absolute ale curentului, cît și la viteza de variație a acestuia, în special cînd scurtcircuitul din instalație se produce în momentul amorsării unui tiristor. O metodă des folosită pentru protecție la supracurenți constă în utilizarea la calcule al unui coeficient scăzut de utilizare al elementelor semiconductoare. De asemenea, de multe ori calculul pentru elementele semiconductoare se efectuează nu pentru curentul lor nominal, ci pentru valoarea curentului de scurtcircuit. Dar scăderea coeficientului de utilizare al elementelor duce inevitabil la sporirea costului instalației și la complicarea circuitelor de comandă al elementelor semiconductoare din convertoare.

Sînt descrise metode și dispozitive pentru protecția convertoarelor la supratensiuni și supracurenți. Se prezintă rezultatele experimentale ale aparaturii de protecție. Se recomandă folosirea în cazul protecției la supracurenți a siguranțelor ultrarapide și a unui dispozitiv special de comandă. Pentru protecția la supratensiuni, se recomandă folosirea unui limitator cu arc. *A.S.*

CZ 621.317 *Tehnica măsurilor electrice. Aparate de măsură*

CZ 621.317 + 621.3.014.31 – 535.632

Micheli, S. și Genesio, R. **Un dispozitiv bazat pe efectul Hall pentru măsurarea energiei arcului** (Un dispozitivo ad effetto Hall per la misura dell'energia d'arco). In: Elettrotecnica, vol. **LV**, nr. 9, sept 1968, p. 669—676, 15 fig., 8 ref. bibl.

După prezentarea problemei se arată importanța măsurării energiei arcului electric cu ajutorul unor dispozitive bazate pe efectul Hall.

Se descrie apoi dispozitivul de alimentare a sondei Hall, explicîndu-se fenomenul fizic care apare în cadrul contactului sondei cu arcul electric.

Se face o secțiune prin dispozitivul de măsură și se fotografiază aparatul folosit de autor în diverse experiențe de laborator.

Se fac o serie de considerații asupra schemei de măsură utilizată, specificîndu-se rolul fiecărui element din schemă. Se comentează atît schema prezentată, cît și elementele de înregistrare a curentului și tensiunii arcului.

Se comentează schema electrică a traductoarelor de tensiune și curent, a oscilografului catodic, a amplificatorului efectului Hall.

Se mai prezintă schema completă experimentală la măsurarea diferenței de potențal și a energiei arcului electric.

Rezultatele obținute se redau sub formă de diagrame de variație a tensiunii, a curentului și a puterii aparente a arcului electric. *A.C.*

CZ 621.317.39 : 531.468

Robert, E. și Reding, L. **Studiu experimental asupra unui accelerator de plasmă cu electrozi liniari** (Étude expérimentale d'un accélérateur de plasma à électrodes linéaires.) În: Revue Générale de l'Électricité, tom **77** nr. 11, 1968, p. 1 019—1 028, 17 fig., 5 ref. bibl.

Se examinează influența parametrilor, a presiunii și a tensiunii asupra vitezei asimptotice de propagare a sarcinii electrice din interiorul unui accelerator cu electrozi liniari. Montajul realizat experimental poate servi drept banc de încercări pentru diverse aparate de măsură.

După prezentarea problemei se fac considerații teoretice asupra schemei acceleratorului coaxial, asupra cîmpului magnetic și a forțelor care se produc, dîndu-se relațiile analitice de calcul. Se descrie apoi acceleratorul liniar cu plasmă, discutîndu-se în special circuitul echivalent și relațiile mărimilor care apar: cîmpul magnetic, forța, curentul și diferența de potențial la care sînt supuse particulele elementare. Se descriu aparatele de măsură utilizate, cum ar fi sondele electromagnetice, sondele optice și camera ultrarapidă și se arată cum se determină practic viteza de propagare a descărcărilor.

Rezultatele experimentale sînt date sub formă de diagrame care servesc la determinarea principalelor mărimi care intervin la o descărcare rapidă și de mare intensitate. *A.C.*

CZ 621.36 *Electrocăldură*

CZ 621.362

Lheureur, R. **Metoda simbolică de calcul al circuitelor termoelectrice. Verificări experimentale și aplicații** (Méthode symbolique de calcul des circuits thermoélectriques. Vérification expérimentale et applications). In: Revue Générale De L'Électricité, tom **77**, nr. 9, 1968, p. 386—392, 5 tab., 10 fig., 4 ref. bibl.

Întrucît legile ce se aplică și în termoelectricitate prezintă un caracter relativ complex, autorul indică o metodă simbolică care înlesnește aplicarea legilor și permite luarea în considerare a tuturor efectelor, chiar în cazul circuitelor care comportă mai multe elemente.

Se pune la punct metoda simbolică propusă pentru calculul circuitelor termoelectrice și se fac investigații pentru măsurarea temperaturilor în zona activă a reactoarelor nucleare. Metoda se poate folosi fără dificultate, atît la calculul circuitelor termoelectrice utilizate în laborator, cît și pentru studiul instalațiilor termoelectrice industriale. Se definesc efectele: Peltier, Thomson, Seebeck și se scriu folosind metoda simbolică — legile lui Becquerel. Se determină tensiunea electromotoare parazită de origină termică care apare în cazul punții Wheatstone. Metoda permite determinarea tensiunilor și curenților paraziți din circuitele electronice și înlesnește efectuarea cu precizie a măsurărilor efectuate pe scară industrială. *A.C.*

CRONICĂ

Sesiunea CIGRÉ — 1970

În cursul anului 1970 va avea loc la Paris sesiunea a 23-a a Conferinței Internaționale a Marilor Rețele Electrice.

Țara noastră urmează să participe, ca și la sesiunile precedente, cu rapoarte prezentate, în cadrul contingentului de două rapoarte fixat pentru Comitetul nostru Național.

Rapoartele pentru sesiunea 1970 trebuie să se încadreze în următoarele grupe ce vor fi discutate la sesiune:

grupa 11 — mașini rotative;
grupa 12 — transformatoare;
grupa 13 — aparataj de deconectare;
grupa 14 — instalații pentru conversiune alternativ-continuu;
grupa 15 — materiale izolante;
grupa 21 — cabluri de înaltă tensiune;
grupa 22 — linii aeriene;
grupa 23 — stații;
grupa 31 — rețele de transport;
grupa 32 — planificarea și exploatarea rețelelor;
grupa 33 — supratensiuni și coordonarea izolației;
grupa 34 — protecție, automatizări;
grupa 35 — teletransmisiuni;
grupa 36 — perturbații.

Subiectele preferențiale din cadrul grupelor arătate mai sus, au fost stabilite în cadrul Comitetelor Internaționale de studiu ale CIGRÉ.

Rapoartele vor putea să trateze numai în mod excepțional și alte chestiuni decît cele ce se încadrează în subiectele preferențiale, cu condiția ca ele să prezinte un interes deosebit și să fie de mare actualitate.

Subiectele preferențiale pentru sesiunea 1970 sînt prezentate în continuare.

Grupa 11 (mașini rotative): probleme de încălzire a părților active și constructive ale mașinilor sincrone cu răcire directă; probleme mecanice ale statoarelor și rotoarelor turbo și hidrogeneratoare mari; metode de încercare și criterii de performanță ale noilor sisteme de excitare.

Grupa 12 (transformatoare): condițiile de funcționare, dimensionare și încercări ale reactanțelor șunt; exploatarea transformatoarelor inclusiv mijloacelor de încetinire a îmbătrînirii; coordonarea izolației interne a transformatoarelor ținînd seama de valorile tensiunilor de serviciu și de încercare.

Grupa 13 (aparataj de deconectare): probleme privind tensiunile în cazul unei operații de conectare sau deconectare; fenomene privind trecerea prin zero a curentului și relațiile cu încercările sintetice; problemele relative la deconectarea curenților în sistemele de curent continuu de înaltă tensiune.

Grupa 14 (instalații pentru conversiune alternativ-continuă: concepția, construcția și încercarea dispozitivelor de comandă a convertizoarelor pentru instalațiile de curent continuu de înaltă tensiune; reglajul și exploatarea instalațiilor de conversiune la înaltă tensiune pentru rețelele de alimentare dublă și multiplă; influența caracteristicilor rețelei asupra concepției stațiilor terminale de curent continuu; experiența de exploatare a stațiilor existente.

Grupa 15 (materiale izolante): progresele în construcția condensatoarelor. Avantajele sistemelor mixte hîrtie-plastic față de sistemele clasice. Utilizarea lichidelor de impregnare conținînd aditive, rolul jucat de acestea în creșterea rezistenței la îmbătrînire; încercările și rezultatele de exploatare ale izolațiilor realizate din materialele epoxidice sau din alte materiale plastice utilizate în exterior. Problemele datorate eroziunii și transportului.

Problemele legate de detectarea degradărilor de natură termică sau electrică ale diferitelor tipuri de materiale izolante pentru rețelele de înaltă tensiune: materiale izolante, plastice de extindere, materiale izolante pe bază de hîrtie de materiale plastice, materiale izolante mixte impregnate cu ulei, materiale dielectrice colorate sau materiale izolante gazoase. Posibilitățile oferite de cromatografie în faza gazoasă.

Grupa 21 (cabluri de înaltă tensiune): cabluri pentru curent continuu; cabluri cu izolație sintetică; transportul puterilor mari prin cabluri subterane.

Grupa 22 (linii aeriene): conductoare și accesorii; importanța structurii stîlpilor; proiectarea și ridicarea stîlpilor.

Se va pune accentul pe cercetările noi și pe tendința de creștere a tensiunii rețelelor.

Grupa 23 (stații): principii generale de construcție a stațiilor privind dispoziția echipamentului de înaltă tensiune, a conexiunilor, a instalațiilor de reglaj și control, a serviciilor auxiliare și a instalației de legare la pămînt ținînd seamă de creșterea sarcinilor în rețele, de creșterea curenților de scurtcircuit (inclusiv problemele instalației de punere la pămînt), a reducerii suprafeței de teren, a micșorării cheltuielilor de investiții și exploatare și orice alt punct de vedere care poate influența aceste principii; aplicarea principiilor susmenționate la stații simplificate situate în zone cu densități mici de sarcină, alimentînd orașe sau consumatori industriali, precum și la instalații în derivație pe linii de transport importante; aplicarea principiilor susmenționate la stații de tensiune nominală egală sau mai mare de 500 kV, luînd în considerare în special dispoziția particulară a acestor stații. Se acordă un interes special rezultatelor experiențelor efectuate pînă în prezent.

Grupa 31 (rețele de transport): informații privind studiile teoretice și cercetările de laborator pentru rețelele de curent alternativ de foarte înaltă tensiune (peste 500 kV); informații privind studiile teoretice și cercetările de laborator pentru rețelele de curent continuu de foarte înaltă tensiune; rezultate din exploatarea rețelelor de foarte înaltă tensiune, de curent alternativ și continuu și contribuția lor la obținerea unei exploatări mai economice și mai sigure.

Grupa 32 (planificarea și exploatarea rețelelor): metode pentru îmbunătățirea stabilității rețelelor electrice; reglajul în funcționarea rețelelor electrice în vederea economiei și securității maximale; optimizarea planificării pe termen lung a rețelelor electrice.

Grupa 33 (supratensiuni și coordonarea izolației): originea, forma, amplitudinea supratensiunilor de comutație în rețelele de foarte înaltă tensiune și curbele de densitate de probabilitate. Exigențele care rezultă față de dispozitivele de protecție. Metode pentru determinarea caracteristicilor izolației ținînd seama de considerațiile probabilistice și economice; comportarea izolatoarelor de foarte înaltă tensiune, a distanțelor de izolație în aer și a descărcătoarelor, în funcție de diferite solicitări dielectrice și pentru diverse condiții ale mediului înconjurător. Corespondența între comportarea în rețea și rezultatele încercărilor, cu referire specială în ceea ce privește poluarea; comportarea liniilor și stațiilor din rețeaua de 220 kV și mai mult, la efectele trăsnetului. Protecția acestora contra supratensiunilor atmosferice din punct de vedere tehnico-economic.

Grupa 34 (protecție, automatizări): dispozitive utilizate pentru comanda rețelelor de energie cu referire la rentabilitate și securitate; principii și realizări ale sistemelor automate de protecție a rețelelor contra defectelor persistente și condițiilor anormale de suprasarcină; principii și realizări în automatizarea locală din centrale și din stațiile de transformare pentru exploatarea normală și pentru condițiile anormale datorită incidentelor.

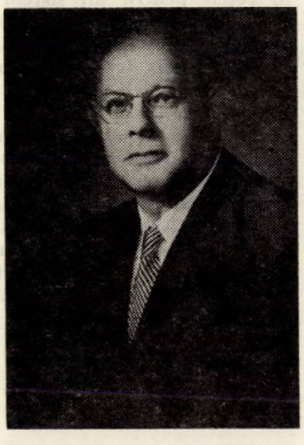
Grupa 35 (teletransmisiuni): calcule și măsurători referitoare la propagarea frecvențelor purtătoare pe liniile de energie; calități cerute și procedee de codificare în transmiterea semnalelor și datelor pentru rețelele de energie, luînd în considerare zgomotul de natură electrică; transmiterea pe cale radioelectrică a datelor și semnalelor de teleprotecție, proprii rețelelor de energie.

Grupa 36 (perturbaţii): creşterea potenţialului solului în apropierea instalaţiilor electrice. Repercusiune asupra circuitelor de telecomunicaţii care intră în instalaţii sau trec în apropierea acestora; inducţie electromagnetică asupra canalizărilor îngropate de tipul „pipelines" rezultatele măsurătorilor; repartiţia statistică a nivelelor de perturbaţii radiofonice produse de liniile de energie de foarte înaltă tensiune în c.a.

Comitetul Naţional Român al CIGRÉ s-a adresat direct tuturor întreprinderilor interesate din ţară şi informează şi pe această cale specialiştii din ţara noastră asupra subiectelor preferenţiale.

Ing. *Liviu Groza*
Secretariatul Comitetului Naţional Român al CIGRÉ

Un an de la moartea lui Gabriel Kron



La 25 martie 1969 s-a împlinit un an de la moartea lui Gabriel Kron, unul din cei mai mari cercetători-pionieri ai ştiinţei contemporane.

Născut la Baia Mare la 23 iulie 1901, într-o familie de mic comerciant, pleacă în America în 1921, imediat după terminarea liceului, unde urmează cursurile universităţii din Michigan pe care le absolvă strălucit obţinînd distincţia „Cheia de Aur" în anul 1924. Marea sete de cunoaştere, care îl va impulsiona de-a lungul întregii sale vieţi, îl antrenează în perioada 1924—1926 într-o călătorie în jurul globului care îl pune în contact direct cu modul de viaţă şi obiceiurile popoarelor lumii.

Activitatea sa, pe care a desfăşurat-o ca proiectant de maşini electrice la firmele Westinghouse, Lincoln electric Company ş.a., a fost întreruptă în perioada marei crize economice din 1927—1929, cînd licenţiat din serviciu, fără resurse financiare îl regăsim din nou în România, preocupat de probleme de calcul tensorial, geometrie diferenţială şi topologie combinatorie.

Este interesant de amintit că prima lucrare remarcabilă a lui Gabriel Kron „Tensor Analysis of Rotating Machinery: the Transient Performance of Asymmetrical Machines under Unbalanced Conditions" a fost publicată în 1932 pe cont propriu la Baia Mare. Această lucrare este considerată actualmente ca un document de mare semnificaţie în care s-a introdus pentru prima dată noţiunea de tensor generalizat al maşinii, constituind astfel, începutul unei ere noi în gîndirea electrotehnică contemporană — era teoriei tensoriale a maşinilor şi reţelelor electrice.

Reîntors în America (din 1934 pînă în 1966) Gabriel Kron îşi continuă activitatea la firma americană „General Electric Company", unde funcţionează ca inginer consultant, fiind angajat în rezolvarea problemelor de bază ale sistemelor fizice complexe.

Între anii 1932—1938 Kron dezvoltă electrodinamica neriemanniană, teoria reţelelor şi a transformării matricei impedanţelor care poate fi considerată azi clasică. Această activitate ştiinţifică, care a fost la început publicată sub forma unei serii de articole în General Electric Review (1935—1937) şi ulterior sub forma unei cărţi, a condus la opera fundamentală „Tensor Analysis of Networks" — publicată în 1939 şi republicată în 1965. O sinteză a acestei lucrări a fost publicată în 1942 sub titlul „A short course in tensor analysis for Electrical Engineers", — de asemenea republicată în 1959 sub titlul „Tensors for Circuits".

Lucrarea sa „Non — Riemanian Dynamics of Rotating Electrical Machinery", publicată în S.U.A. în 1934, este în curînd recunoscută drept o lucrare clasică ce îi aduce premiul Montefiore al Universităţii din Liege — Belgia.

Studiile referitoare la maşina electrică şi circuitele ei echivalente inclusiv noţiunea fundamentală de maşină primitivă tratate la un nivel ingineresc aplicativ, sînt concretizate în lucrarea „Equivalent circuits of electrical machinery", publicată în anul 1951.

În cele aproape patru decade, scurse de la începutul activităţii sale, Kron a scris cinci cărţi şi peste o sută de articole, toate cu un înalt grad de originalitate. Ultima sa carte despre diacoptică, se ocupă cu teoria rezolvării sistemelor complexe prin metoda secţionării, rezolvînd subreţelele care rezultă din divizarea reţelei iniţiale şi interconectînd soluţiile subreţelelor pentru a determina soluţia generală.

Lucrările sale, dintre care multe complet epuizate, se găsesc la Bibliotaca Centrală de Stat din Bucureşti, ca urmare a unei donaţii generoase a autorului.

Opera lui Kron se distinge prin maniera sa sistematică de a căuta o încadrare grupală a problemelor. De fapt, utilizarea conceptelor tensoriale sub forma unor notaţii matriciale permite să se obţină o generalizare, pentru mărimi mai complicate, a unor relaţii cunoscute pentru mărimi simple. Cu alte cuvinte, forma relaţiilor rămîne aceeaşi, deşi semnificaţia simbolurilor este mai largă. Aceasta constituie de altfel avantajul de netăgăduit pe care l-a adus în matematică introducerea calculului matricial şi tensorial. Calculul tensorial a fost utilizat în fizică în mod extensiv, în teoria generalizată a relativităţii; în inginerie acest calcul a fost folosit în mod sistematic, pentru prima dată de Kron.

Cîmpul activităţii lui Kron nu se limitează la analiza reţelelor şi maşinilor electrice: el se extinde la radio şi radar, la mecanică şi inginerie constructivă, la hidrodinamică, la fizică nucleară, la probleme de fizică-matematică.

Bibliografiile comentate, pe care le-a publicat inginerul şi matematicianul englez S. Austen Stigant şi prof. american Th. Higgins, aruncă o lumină clară asupra domeniului larg de aplicabilitate a lucrărilor lui Kron.

Trebuie să remarcăm faptul că folosirea calculului matricial şi tensorial nu simplifică metoda analitică de rezolvare a problemelor, însă acest lucru nu are nici-o importanţă, deoarece în epoca calculatoarelor misiunea şi perspectiva ştiinţifică a inginerului s-au schimbat. Esenţial, în prezent, nu este rezolvarea propriu-zisă a problemei care este lăsată pe seama maşinii de calcul, ci modul de formulare a rezolvării, adică algoritmizarea ei, care are menirea să dea posibilitatea cuprinderii unui număr cît mai mare de cazuri particulare.

Progresele obţinute în domeniul mijloacelor de calcul numeric, folosind calculatoarele numerice, au scos în evidenţă mai pregnant importanţa aplicării unor mijloace ştiinţifice puternice în obţinerea soluţiilor formale a sistemelor complexe. Avantajul acestor mijloace, care se bazează pe calculul tensorial, constă tocmai în generalitatea lor care le transformă în mijloace de investigaţie de prim ordin al ştiinţei aplicate moderne.

Opera lui Kron poate fi mai bine înţeleasă dacă este legată de contextul ei istoric. Activitatea sa ştiinţifică începe în momentul, în care fizica modernă suferă importante prefaceri, în epoca în care A. Einstein difuzează teoria generalizată a relativităţii, care — după cum se ştie, — geometrizează mecanica, folosind noi fiinţe matematice (denumite tensori), precum şi noile idei geometrice ale lui Riemann. Entităţile fizice care au importanţă, sînt cele care la o modificare a sistemului de referinţă rămîn invariante. Ori proprietatea fundamentală a mărimilor tensoriale este tocmai faptul că forma expresiilor lor analitice, este invariantă în raport cu transformările sistemului de referinţă.

Noţiunea aceasta de invarianţă, adică de conservare la anumite modificări ale cadranului de raportare, este foarte importantă pentru fizica modernă. În teoria restrînsă a relativităţii invarianţii principali sînt viteza luminii şi distanţa spaţialo-temporală, în teoria generalizată invarianţii sînt mărimile tensoriale legate de proprietăţile intrinseci ale spaţiului cum ar fi tensorul metric, tensorul de curbură etc. În acelaşi timp legile mecanicii pot fi considerate drept o consecinţă directă a anumitor configuraţii geometrice, denumite geodetice.

Punctul de plecare a lui Kron în lucrarea sa fundamentală, privind electrodinamica, este similar.

Opera lui Kron s-a concretizat prin importante rezultate practice cum ar fi: un regulator care permite să regleze tensiunea unei reţele electrice fără a mai interveni reactanţa tranzitorie a generatoarelor electrice, expresiile pierderilor în reţele pentru un sistem energetic, metoda de calcul a micilor pendulări la modificări ale regimului electric al reţelei, studiul echilibrului termic al unui reactor nuclear, modelele electrice echivalente ale ecuaţiei lui Schrödinger, ale ecuaţiilor lui Maxwell şi ale altor ecuaţii diferenţiale şi cu derivate parţiale etc.

Analizînd conceptul de maşină electrică elementară sau primitivă, Kron ajunge la o formulare geometrică a electrodinamicii. Structura spaţiului, cadrul în care au loc fenomenele electrodinamice, nu este însă euclidiană şi nici măcar riemanniană. Această structură spaţială este mult mai complexă şi implică a se recurge la anumite idei avansate ale geometriei diferenţiale (în sensul lui Cartan şi Rham).

Etapele concretizării soluţiei kroniene a electrodinamicii sînt următoarele: ecuaţiile generale ale mecanicii analitice ale lui Lagrange, introducerea legăturilor neolonome, dinamica lui Boltzmann-Hamel, electrodinamica neriemanniană a maşinii electrice. Prin această tendinţă către universalitate, opera lui Kron tinde către acea unitate, care alcătuieşte şi a alcătuit de totdeauna strădania de bază a omului de ştiinţă.

Ca la oricare deschizător de drumuri şi explorator de orizonturi noi, activitatea sa este marcată de o luptă continuă împotriva ideilor conformiste, înguste, dogmatizate în ştiinţă şi a purtătorilor acestora, împotriva acelora care nu înţelegeau şi, deci, nu puteau să aprecieze ideile sale. În perspectiva timpului se poate aprecia că activitatea sa a putut deveni în mare măsură atît de fructuoasă datorită înţelegerii, susţinerii şi stimulării permanente pe care i-a arătat-o firma „General Electric Company".

Moartea dr. Kron — laureat al premiului „Montefiore" al Universităţii din Liege (1935), doctor inginer onorific în electrotehnică al Universităţii din Michigan (1936) laureat al premiului „Coffin" al Societăţii „General Electric Company (1942), doctor în ştiinţe „Honoris Causa" al Universităţii din Nottingham (1961), membru de onoare al Asociaţiei de geometrie aplicată din Tokyo, membru de onoare al Societăţii „Tensor Society" din Marea Britanie, într-o perioadă de plină afirmare a ideilor sale, a constituit o pierdere grea, ireparabilă, pentru ştiinţa mondială. Opera sa, care poartă amprenta geniului, i-a asigurat un loc trainic în pantheonul ştiinţei, în posteritate.

Prof. dr. doc. şt. tehn. *V. Corlăţeanu*
Prof. dr. ing. *V. Nedelcu*
Ing. *A. Rothman*

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. şt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. şt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. şt. tehn. V. CORLĂŢEANU; ing. ŞT. GROSU; prof. dr. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; conf. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTIANA POPESCU; ing. VL. POPOVICI; acad. prof. dr. doc. şt. tehn. ing. R. RĂDULEŢ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista "ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare şi publicaţii tehnice al M.I.C.M., cu sediul în Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon redactor şef: 14.90.27. Redacţia: Bucureşti, str. Ion Ghica, nr. 3, sector IV; telefon secretar general de redacţie: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon: 16.21.70 interior 173. Instituţiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 40060300 Banca Naţională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, Bucureşti. Tarif pentru instituţii şi întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informaţia", Bucureşti, str. Brezoianu, nr. 23 — 25, c. 3159. *Taxele poştale plătite în numerar conform aprobări. D.G.P. nr. 10/10275/1968*

41 400

SOMMAIRE

CD 538.632 :537.311.33 :621.3.013

De Sabata, I. et *Daba, D.* : **Le champ Hall des courants tourbillonnaires dans les plaques semiconductrices placées transversalement dans un champ magnétique homogène, fonction du temps.**

Electrotehnica **17**, no. 4, avril 1969, p. 125–130

On étudie l'effet Hall des courants tourbillonnaires. On établit les équations du champ et on fait l'intégration pour les cas particuliers. Les conclusions théoriques sont vérifiées expérimentalement.

CD 621.313.1.012.7

Niculescu, D. et *Crăciunescu, A.* : **L'utilisation des graphes à l'élaboration de la théorie unitaire des machines électriques.**

Electrotehnica **17**, no. 4, avril 1969, p. 130–136

On montre que les graphes orientés peuvent être utilisés comme un modèle topologique qualitatif des machines électriques, remplaçant ainsi les schémas-blocs et les schémas équivalents utilisés à cet effet. Le graphe orinté proposé dans cet ouvrage représente une combinaison entre les graphes Mason, Shelly et Bickart.

On introduit la notion d',,indice de transfert'' d'un noeud pour pouvoir réaliser la classification cohérente des noeuds des graphes orientés. On présente les sept transformations structurales auxquelles peuvent être réduites toutes les règles topologiques de simplification et de transformation des graphes Mason. On établit les graphes du transformateur électrique avec deux aspects et du convertiseur électromécanique rotatif isotrope en régime de moteur et en régime de générateur.

En considérant les cas particuliers et en faisant des juxtapositions, on peut obtenir, à partir des graphes établis, les graphes des machines électriques usuelles.

CD 621.316.923.017.7.001.25

Barbu, I. : **Considérations sur les phénomènes stationnaires électriques et thermiques qui se produisent lors du fonctionnement des coupe-circuits à fusibles.**

Electrotehnica **17**, no. 4, avril 1969, p. 137–143

On étudie l'équation de l'échauffement en régime station-

On étudie l'équation de l'échauffement en régime stationnaire pour les fusibles des coupe-circuits électriques, tout en fixant les conditions-limites possibles. Le calcul des solutions pour quelques conditions à la limite établies à été effectué en tenant compte de la variation de la résistivité par rapport à l'échauffement. Utilisant une méthode originale, et basé sur les formules déduites, on détermine les coefficients de transmission de la chaleur K et η à l'aide desquels on calcule l'échauffement des fusibles.

CD 621.791.753.015.53 :621.79

Nichici, Al. : **Nouveaux aspects concernant l'influence du mouvement oscillatoire de l'électrode, sur les processus d'usinage pour lesquels on emploie les étincelles électriques.**

Electrotehnica **17**, no. 4, avril 1969, p. 143–149

On présente les résultats des essais expérimentaux effectués en vue de déterminer l'influence des oscillations propres et forcées de l'électrode sur les phénomènes fondamentaux de l'usinage.

Les données obtenues sont mises en rapport avec les processus de génération des impulsions de courant électrique, d'évacuation des produits de l'errosion ainsi que pour la stabilisation de l'usinage.

On met en évidence les possibilités d'optimalisation du prélèvement de matériel en tenant compte de l'amplitude des oscillations forcées.

POUR LE JEUNE INGENIEUR

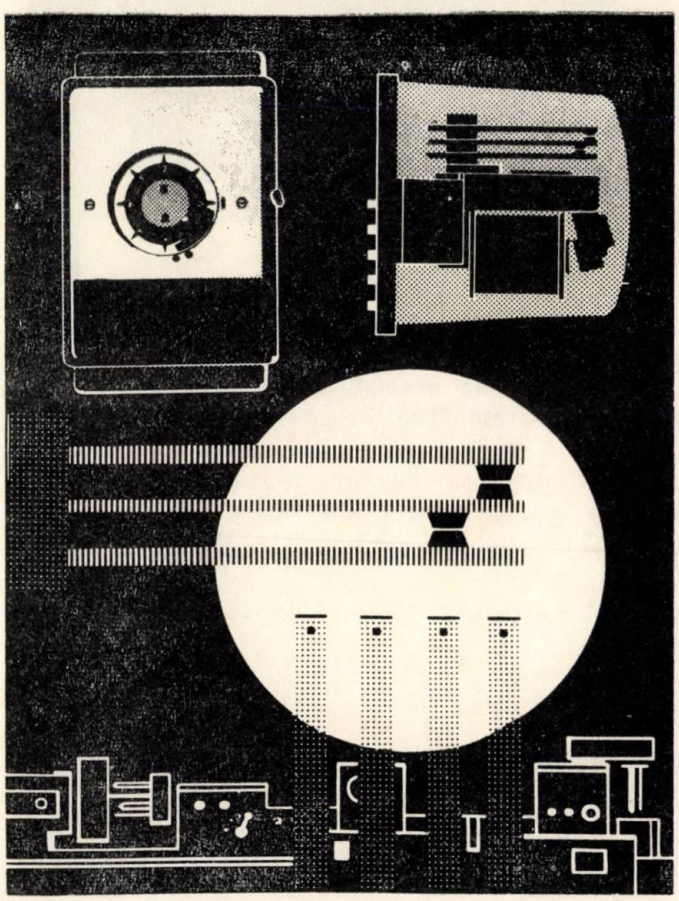
CD 621.3.042.1 :621.318.23

Cupşa, A. et *Boghiu Corina* : **Le calcul de certains circuits magnétiques à aimants permanents et à dispersion répartisée.**

Electrotehnica **17**, no. 4, avril 1969, p. 149–159

On développe deux méthodes de calcul pour les circuits à aimants permanents, et notamment : une méthode analytique qui considère le flux de dispersion continu distribué et on l'applique aux circuits relativement compliqués mais non-saturés ; l'autre méthode considère le flux de dispersion repartisé en un nombre fini d'intervales, méthode que l'on applique exclusivement aux circuits exécutés à partir des barres prismatiques et valable pour n'importe quel degré de saturation. On présente en même temps des applications numériques et des vérifications expérimentales.

COMPTES-RENDUS 159
RÉFÉRATES 160–161
CHRONIQUE 162–164



UN SORTIMENT DE RELEE PENTRU COMENZI MULTIPLE

Tehnologia metodelor moderne de fabricaţie se bazează pe utilizarea unor aparate electrice de mare randament pentru procesele de conectare şi comandă.
Noi realizăm relee intermediare pentru transmisia imediată a comenzilor, relee de timp pentru transmisia întîrziată a impulsurilor de comandă, precum şi relee de avertizare cu semnalizare optică a poziţiei întreruptoarelor.
Cu plăcere vă dăm informaţii precise.
Vă rugăm să ne solicitaţi prospecte.

EXPORTATOR:

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR 104 BERLIN

REPUBLICA DEMOCRATĂ GERMANĂ

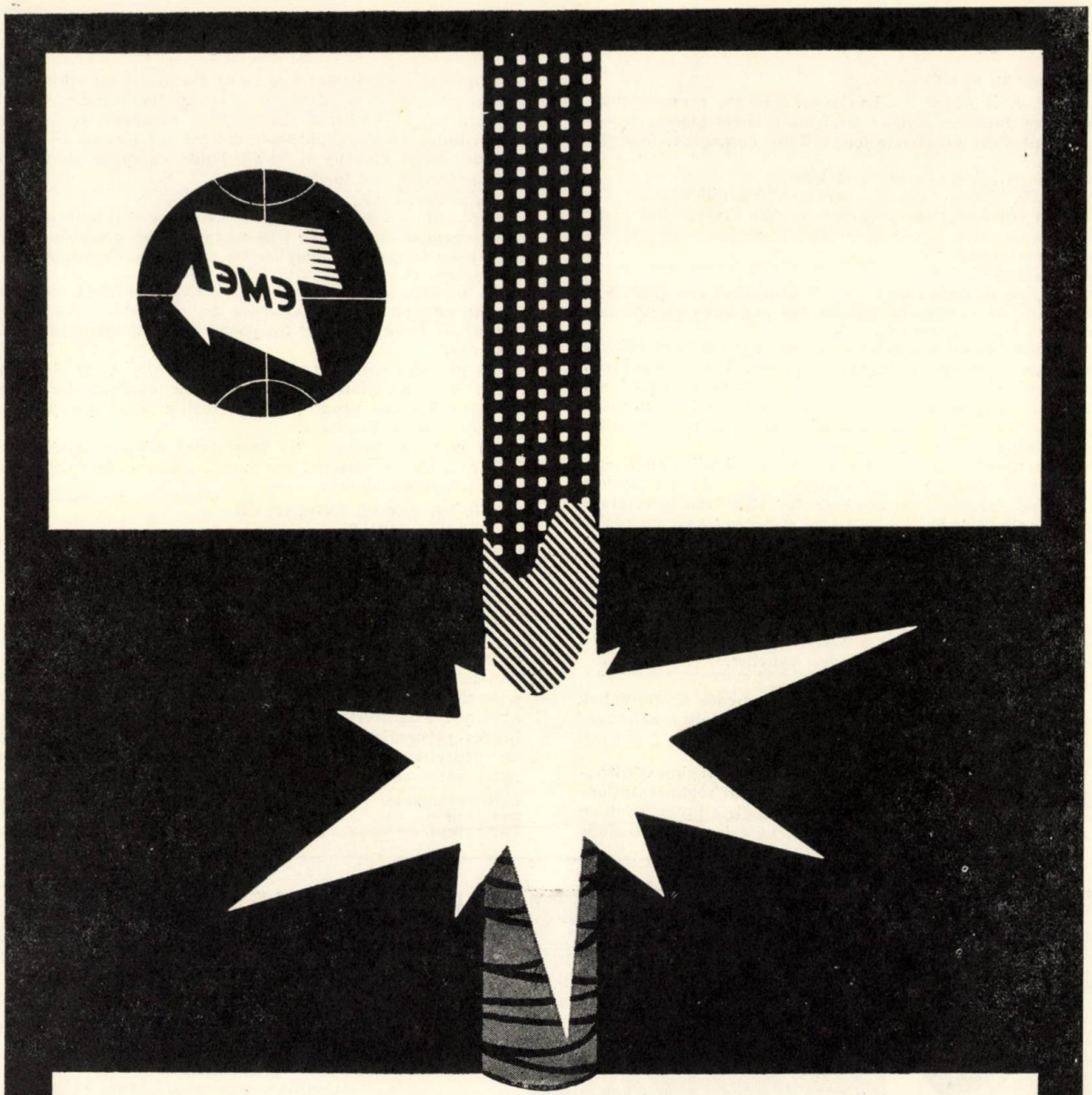
Informaţii privind exportul vă furnizează Secţia de politică comercială Elektrotechnik de pe lîngă Ambasada R.D.G. în Republica Socialistă România Calea Dorobanţilor 14 Bucureşti

ELECTRO—APARATE—WENKE DER DDR

Vă rugăm să ne vizitaţi la expoziţia organizată între 4—13.V.1969, zilnic între orele 9—20, în complexul sportiv, „Floreasca", str. Aviator Popa Marin, nr. 2 (sala de atletică uşoară), Bucureşti.

EAW

PUBLICOM



Productivitatea înaltă și calitatea superioară a cusăturii sudate caracterizează sudarea electrică sub flux. Adîncimea mare de topire a metalului de bază face posibilă sudarea pieselor fără prelucrarea prealabilă a muchiilor.

Metoda de sudare sub flux are o largă răspîndire în construcția de mașini, de nave și în transport.

Agenția unională „Energomașexport" prezintă diferite automate și semiautomate de sudare și de încărcare prin sudare sub flux, model АДС—1000—2, А—384 МК, ТС—17 Р, ДТС—38, ТС—32 și ТС—35.

Informații se cer la adresa:

V/O „Energomașexport" U.R.S.S., Moscova V—330
Mosfilmovskaia 35, Telex 255

ENERGOMACHEXPORT

Publicom

ENERGOMACHEXPORT
MOSKVA SSSR

În procesul tehnologic de fabricație a diferitelor construcții metalice se realizează o rezistență mecanică înaltă a îmbinărilor sudate și o economicitate ridicată prin utilizarea AUTOMATELOR și SEMIAUTOMATELOR DE SUDURĂ ÎN MEDIU DE GAZE PROTECTOARE.

Agenția unională „Energomașexport" prezintă automate și semiautomate de construcție modernă pentru execuția celor mai diverse lucrări de sudură. Modelele АПДГ — 500, ПДГ — 301, ПДГ — 302, А—537, А—547 у, А — 825М, УДГ — 301 și УДГ — 501 se bucură de o bună reputație în producția industrială.

Semiautomatele permit executarea lucrărilor în diferite poziții în spațiu. Capetele de sudat au greutate redusă și prezintă comoditate în exploatare.

Informații se cer la adresa:

V/O „Energomașexport" U.R.S.S., Moscova V—330
Mosfilmovskaia, 35, Telex 255

SUDAREA ELECTRICĂ ÎN BAIE DE ZGURĂ

În ultima vreme, tehnologia avansată de sudare electrică în baie de zgură este larg răspîndită în întreaga lume. În U.R.S.S. procedeul este aplicat îndeosebi la construcţiile metalice cu pereţi groşi. Avantajele sudării electrice în baie de zgură sînt următoarele:

- Într-o singură trecere se pot suda metale cu grosimi diferite, fără schimbarea poziţiei pieselor.
- Fuziunea metalului se realizează cu mult mai repede decît la sudarea în mai multe straturi.
- Deformarea este limitată ca urmare a încălzirii uniforme a suprafeţei materialului.
- Nu este necesară pregătirea prealabilă a muchiilor. Pentru îmbinări de primă calitate trebuie să se asigure numai planeitatea suprafeţelor muchiilor.
- Datorită greutăţii mici a construcţiei se realizează o economie însemnată.
- Durata de fabricaţie se micşorează de aproape 15 ori faţă de durata corespunzătoare sudării în mai multe straturi. Metoda de sudare electrică în baie de zgură se utilizează la fabricarea cazanelor, recipienţilor de înaltă presiune, utilajului de construcţii, utilajului chimic şi pentru iudustria atomică.

V/O „ENERGOMAŞEXPORT" prezintă o serie de produse sovietice pentru sudarea electrică în baie de zgură: A-612, A-535, A-820 M, A-681 p, A-1150 şi A-645; maşina A-512 cu autoreglare şi tracţiune proprie, cu un electrod, este destinată sudării cap la cap a metalelor de orice lungime, cu grosimea de 20—10 mm; maşina universală A-535 pentru cusăturile cap la cap verticale, cu grosimea pînă la 250 mm, utilizează între unu şi trei electrozi. Maşina poate fi echipată cu un electrod lamelar, putîndu-se astfel suda metale cu grosimea pînă la 800 mm. De asemenea, este posibil reglajul pentru alte regimuri de lucru. Pentru sudarea îmbinărilor inelare se pot ataşa dispozitive suplimentare; maşina A-645 cu bec fuzibil este destinată sudării pieselor cu forme neregulate; se foloseşte îndeosebi la executarea diferitelor lucrări de reparaţii (sudarea batiurilor preselor, a pieselor utilajelor pentru laminare etc.); aparatul A-820 M execută într-o singură trecere sudarea cu arc electric sub flux. Execuţia forţată a cusăturilor cap la cap verticale se realizează prin intermediul unor glisiere de cupru, răcite cu apă. Grosimea metalului sudat variază între 8 şi 50 mm; aparatul A-681p serveşte la sudarea în baie de zgură a tablelor de oţel dispuse vertical, sau înclinat, la un unghi pînă la 45° faţă de verticală. Grosimea metalului sudat este de 14—60 mm; aparatul A-1150 este destinat lucrărilor de sudură la montaj şi pe şantiere de construcţie. Aparatul poate fi utilizat la execuţia cusăturilor verticale cu arc electric şi la sudarea în baie de zgură. n timpul operaţiei aparatul se deplasează pe piesa sudată. Sudarea se execută cu electrod poros fără flux sau gaz protector. Grosimea metalului sudat este cuprinsă între 8 şi 30 mm.

Exportator: **V/O ENERGOMAŞEXPORT — U.R.S.S., Moscova, V-330**
Mosfilmovskaia, 35, Telex 255 — *Agenţia locală:* **STROIEXPORT**

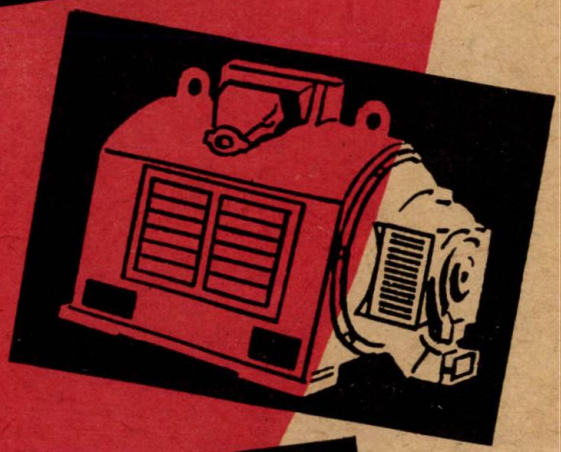
ENERGOMACHEXPORT

PUBLICOM

UZINELE electroputere CRAIOVA

execută pe bază de comenzi ferme:

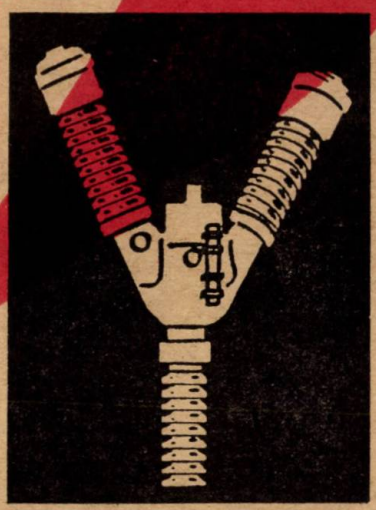
- Locomotive electrice și Diesel-electrice



- Mașini electrice rotative cu puteri pînă la 1600 kW

- Transformatoare de putere și autotransformatoare pentru tensiuni pînă la 220 kV inclusiv

- Aparataj electric de medie și înaltă tensiune pînă la 220 kV inclusiv



Produsele au performanțe tehnice ridicate, dimensiuni și greutăți reduse, sînt de calitate superioară și prezintă siguranță în exploatare

Pentru amănunte solicitați uzinei prospecte și cataloage, în care puteți găsi date privind caracteristicile tehnice, prețurile și condițiile de livrare

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

DIN BUCUREȘTI, — BD. 1 VLADIMIRESCU 45-47 — TELEFON 31 41 00

Электротехнический Научно-исследовательский и Проектный Институт.

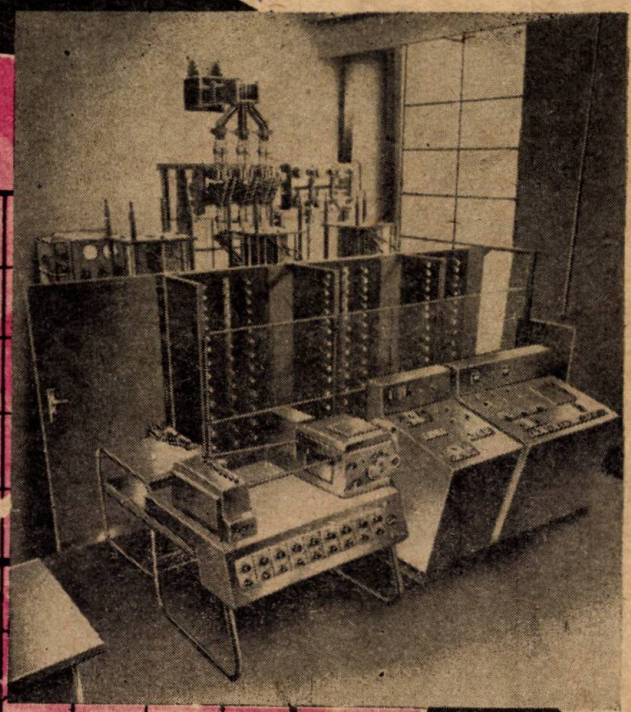
Electrical Engineering and Research Institute

Forschungs-und Projectierungsinstitut für die Elektroindustrie

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Électrotechnique

ICPE

1969 SEP 23



ICPE

Primește comenzi de cercetare și proiectare, cu profil electrotehnic.

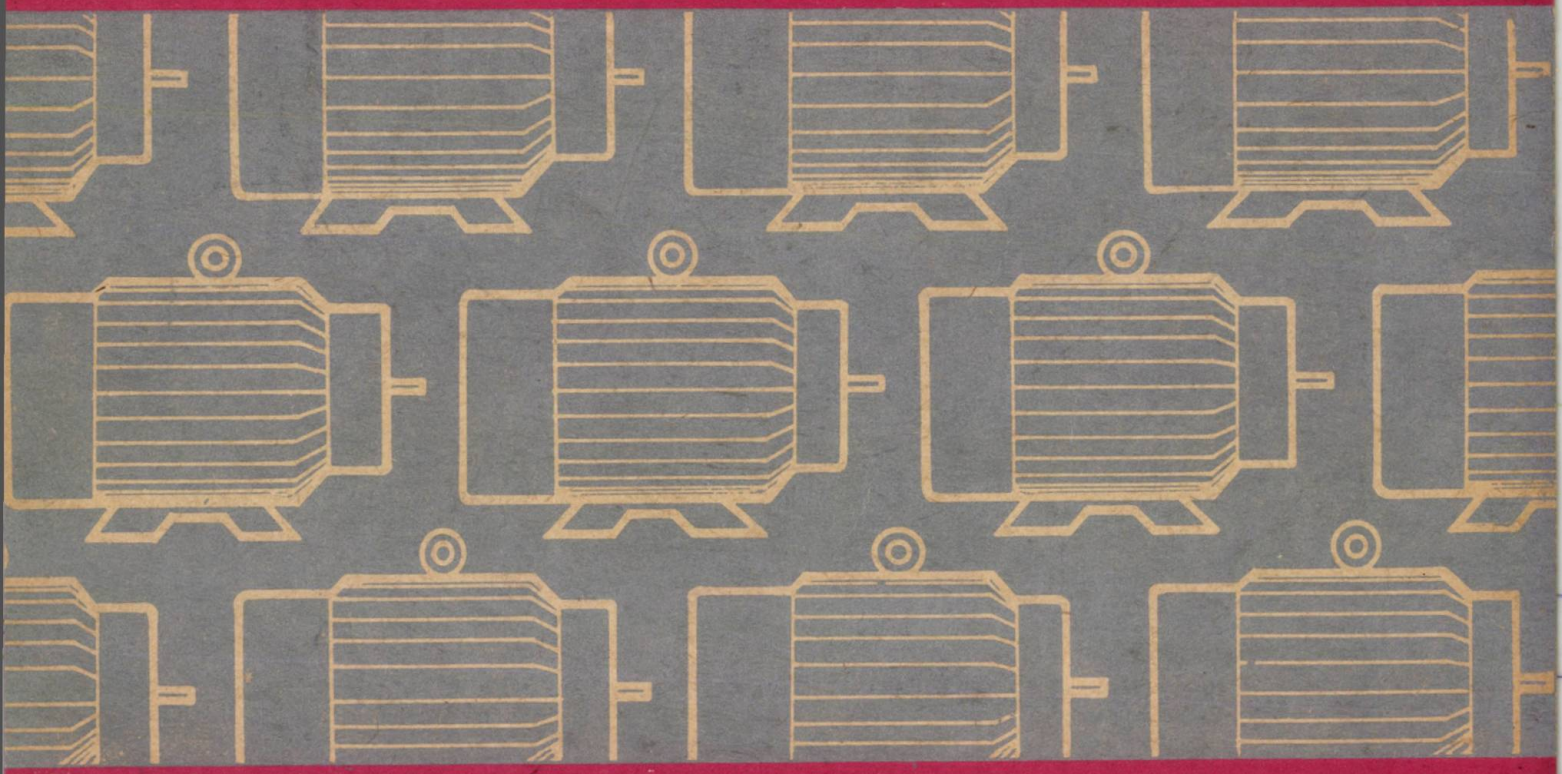
Institutul execută studii, încercări, omologări și prototipuri din domeniul mașinilor și transformatoarelor electrice, aparatelor de joasă și înaltă tensiune, acționărilor electrice, climatizării produselor industriale, calculelor cu mașini electronice, materialelor electrotehnice.

E 2040

R

ELECTROTEHNICA

RETURNAT



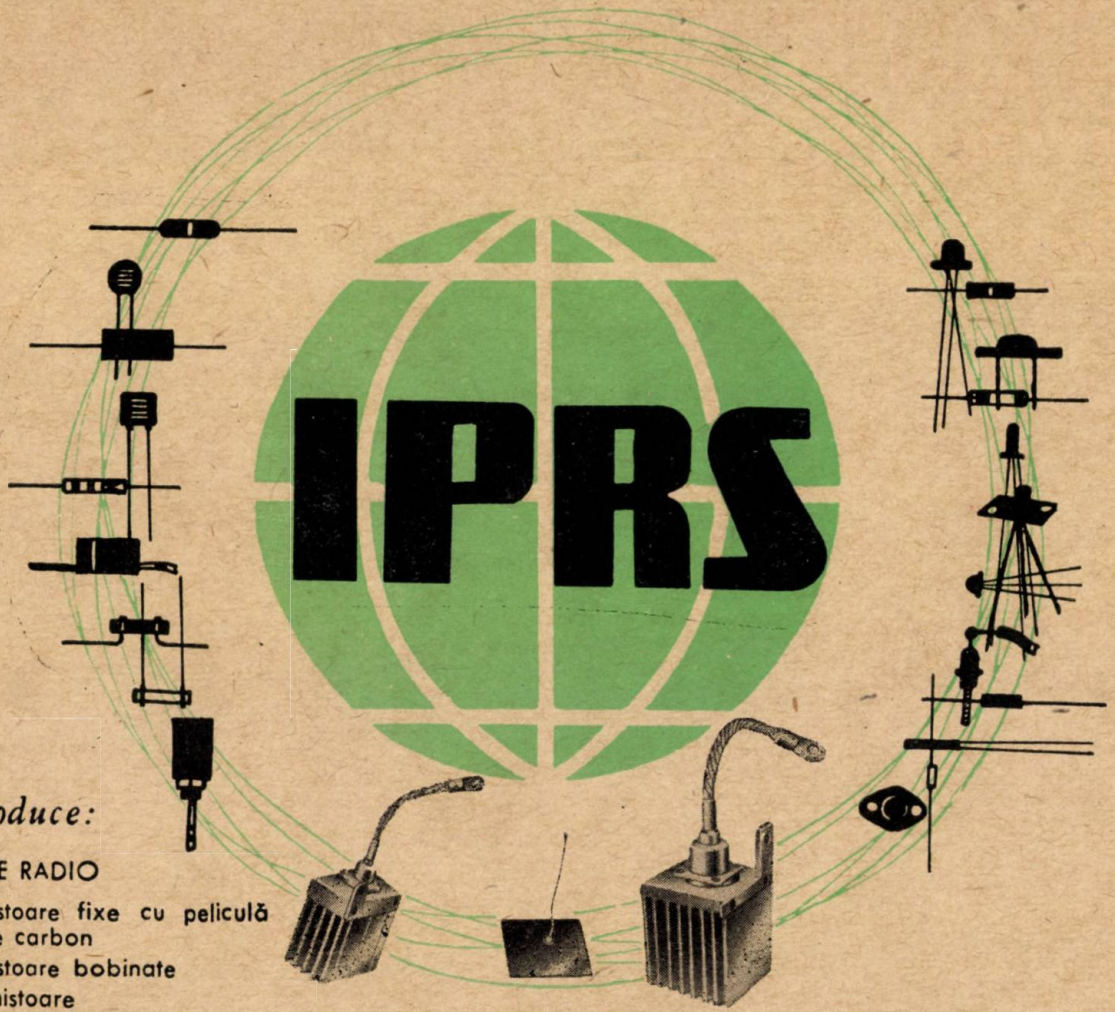
ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 17 • Nr. 5 • MAI 1969

5

IPRS
Băneasa

ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ȘI DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE BĂNEASA

Str Erou Iancu Nicolae, nr. 32, sector 2
telefon 33.38.30, telex 011203



produce:

PIESE RADIO

- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice
- Condensatoare hîrtie—uz general
- Condensatoare hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate

DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

- Transistoare cu germaniu, de joasă frecvență
  - — de mică putere
  - — de medie putere
  - — de putere
- Transistoare cu germaniu de înaltă frecvență
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu cu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere
- Diode Zener de mică putere

PENTRU INFORMAȚII SUPLIMENTARE CONSULTAȚI CATALOAGELE NOASTRE

ELECTROTEHNICA

Anul 17 Nr. 5, p. 165–204 mai 1969

CUPRINS

CZ 621.3.015.4; 621.3.018.33
Popescu, I. şi *Simion, Al.*: **Unele aspecte ale rezonanţei în circuitele electrice neliniare serie.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 165–169

Se tratează într-o formă unitară circuitul electric serie în care, rezistorul, condensatorul şi bobina, au pe rînd caracteristica V-A neliniară.

Caracteristicile de frecvenţă ale circuitului, datorită neliniarităţii elementelor, prezintă domenii stabile şi nestabile ce duc la numeroase aplicaţii practice.

CZ 621.313.37.012.1: 621.314.242.011.1
Nedelcu, V.N.: **O nouă teorie a motorului reactiv.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 170–178

Se arată că: procesul de conversiune în convertoarele monofazate este diferit fundamental de procesul din convertoare trifazate. În convertoarele monofazate transferul de putere activă este efectuat prin intermediul armonicei temporale de curent de ordin doi, datorită căreia unda curentului rezultant este deformată. În convertoarele trifazate se pune în evidenţă „inductanţa ciclică complexă" datorită căreia sinorul de curent este defazat în raport cu sinorul fluxului magnetic, defazaj care asigură transferul de energie. În acest convertor sistemul trifazat de curenţi este simetric şi sinusoidal. Se introduc noţiunile de „ciclu electromecanic reactiv monofazat" şi „ciclu electromecanic reactiv trifazat".

CZ 621.314.2.027.81: 621.3.014.3
Zickman, M.: **Oportunitatea realizării transformatoarelor coborîtoare seria 110 kV cu tensiune de scurtcircuit mărită.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 179–186

Se prezintă situaţiile cînd realizarea transformatoarelor coborîtoare seria 110 kV cu tensiune de scurtcircuit mărită este oportună, precum şi efectele economice ale utilizării unor asemenea transformatoare asupra staţiilor de transformatoare coborîtoare de 110 kV.

CZ 621.3.066.6: 546.78:621.318.512: 629
Pîrligras Ecaterina, Minea Silvia şi *Antohi, C.*: **Studiul comportării contactelor de wolfram de la releele regulatoare auto în prezenţa substanţelor organice în medii cu umiditate ridicată.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 186–190

În prezenţa umidităţii şi a anumitor materiale organice, pe suprafaţa contactelor de wolfram se formează o crustă cu proprietăţi izolante, care conduce la întreruperea circuitelor în instalaţiile electrice.

Lucrările efectuate au urmărit stabilirea gradului de agresivitate al diferitelor materiale organice, care se folosesc în construcţia releului regulator pentru autovehicule, asupra contactelor de wolfram.

S-au studiat: materiale conductoare izolate şi izolaţii pentru bobine; materiale pentru impregnarea bobinelor; materiale izolante suport; materiale de etanşare.

CZ 621.372.51: 537.311.33
Cristea, P. şi *Măgureanu, R.*: **Traductoare fotovoltaice de poziţie şi viteză utilizînd pături subţiri semiconductoare anizotrope pentru comanda maşinilor şi instalaţiilor electrice.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 190–193

Se propune utilizarea păturilor subţiri semiconductoare anizotrope de telur pentru realizarea de traductoare de poziţie pentru mişcări de rotaţie sau translaţie. Se prezintă realizarea unui tahometru pentru măsurarea vitezei micromotoarelor electrice, a unui sistem de comandă al maşinilor cu comutaţie electronică şi un traductor de poziţie pentru mişcări liniare. Simplitatea, preţul de cost scăzut, viteza mare de răspuns recomandă aceste traductoare pentru folosirea industrială, avînd ca element de excitaţie lumina în spectrul vizibil sau radiaţii infraroşii.

CZ 621.385.2: 539.1.074
Poenaru, D.: **Regimul de scurtcircuit al detectoarelor de radiaţii nucleare cu semiconductoare.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 193–196

Se prezintă metoda de calcul pentru determinarea formei impulsurilor de curent debitate de detectoarele semiconductoare de radiaţii, în regim de scurtcircuit.

RECENZII 197–198
REFERATE 198–202
CRONICĂ 202–204

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.3.015.4 : 621.3.018.33
Попеску, И. и *Симион, Ал.:* **Некоторые аспекты резонанса в электрических нелинейных сериесных цепях.**
Electrotehnica 17, nr 5,май 1969, стр. 165—169

Рассматривается в единичной форме электрическая сериесная цепь, в которой резистор, конденсатор и индуктор, имеют поочередно нелинейную характеристику.

Частотные характеристики цепи, благодаря нелинейности элементов, имеют стабильные и нестабильные области, что создает многочисленные возможности практического применения.

ДК 621 313.37.012.1: 621.314.242.011.1
Неделку, В. Н.: **Новая теория реактивного двихателя.**
Electrotehnica 17, nr. 5, май 1969, стр. 170—178

В работе показано, что: процесс преобразования в однофазных конверторах значительно отличается от процесса в трехфазных конверторах. В однофазных конверторах передача активной мощности осуществляется посредством временной гармоники тока, второго порядка, благодаря которой волна результирующего тока деформируется. В трехфазных конверторах выявляется ,,комплексная циклическая индуктивность'', благодаря которой синор тока смещен по фазе относительно синора магнитного потока; этот сдвиг обеспечивает передачу энергии. В этом конверторе трехфазная система токов симметрична и синусоидальна. Вводятся понятия ,,электромеханический реактивный однофазный цикл'' и ,,электромеханический реактивный трехфазный цикл''.

ДК 621.314.2.027.81 : 621.3.014.3
Зикман. М.: **Целесообразность осуществления понижающих трансформаторов серии 110 кв с повышенным напряжением короткого замыкания.**
Electrotehnica 17, nr. 5, май 1969, стр. 179—186

Показаны случаи, когда целесообразно осуществлять понижающие трансформаторы серии 110 кв с повышенным напряжением короткого замыкания, а также экономические эффекты использования этих трансформаторов на станции понижающих трансформаторов в 110 кв.

ДК 621.3.066,6 : 546.78 : 621.318.512 : 629.113
Пырлиграс Екатерина, Миня Сильвия и *Антохи, К.:* **Исследование контактов Вольфрама на автомобильных реле-регуляторах в присутствии органических веществ в средах с повышенной влажностью.**
Electrotehnica 17, nr. 5, май 1969, стр. 186—190

В присутствии влажности и некоторых органических веществ, на поверхности контактов Вольфрама образуется пленка с изоляционными свойствами, которая обуславливает размыкание цепей в электрических установках. Цель проведенных работ заключалась в установлении степени агрессивности различных органических веществ, применяемых в конструкции реле-регулятора для автомовилей, на контакты Вольфрама. Были исследованы: изолированные проводящие материалы и изоляция для катушек; материалы для пропитки катушек; изоляционные материалы для супортов; уплотняющие материалы.

ДК 621.372.51 : 537.311.33
Кристя, П. и *Мэгуряну, Р.:* **Фотовольтовые позиционные и скоростные датчики с применением тонких полупроводниковых анизотропных слоев для управления электрическими машинами и установками.**
Electrotehnica 17, nr. 5, май 1969, стр 190 —193

Предлагается применение тонких полупроводниковых анизотропных теллуровых слоев для осуществления позиционных датчиков при вращательных или поступательных двуженнях. Описывается осуществление тахометра для замера скорости электрических микродвигателей, при системе управления машин с электронной коммутацией, и позиционного датчика для линейных движений. Благодаря простоте, низкой себестоимости и высокому быстродействию, рекомендуется применять эти датчики в промышленности, используя в качестве возбуждающего элемента свет в видимом спектре или инфракрасные излучения.

ДК 621.385.2 : 539.1.074
Поенару, Д.: **Режим короткого замыкания детекторов ядерных излучений с полупроводниками.**
Electrotehnica 17, nr.5, май 1969, стр. 193—196

Приведен метод расчета для определения формы имкульсов тока, отдаваемых полупроводниковыми детекторами излучений, в режиме короткого замыкания.

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.3.015.4 : 621.3.018.33

Popescu, I. und *Simion, Al.*: **Gewisse Gesichtspunkte bzgl. der Resonanz in nichtlinearen elecktrischen Reihenstromkreisen.**

Electrotehnica **17**, H. 5, mai 1969, S. 165–169

In einer einheitlichen Form behandelt man den elecktrischen Reihenstromkreis, in dem der Widerstand, der Kondensator und die Spule der Reihe nach die nichtlineare V–A Charakteristik besitzen.

Die Frequenzeigenschaften der Stromkreises, infolge der Nichtlinearität der Elemente, weist stabile und unstabile Gebiete auf, die verschiedene praktische Anwendungen ermöglichen.

DK 621.313.37.012.1 : 621.314.242.011.1

Nedelcu, V. N.: **Eine neue Theorie des Reaktivmotors.**

Electrotehnica **17**, H. 5, mai 1969, S. 170–178

In dem Aufsatz erörtert man dass der Konversionsprozess in den Einphasenkonvertern grundverschieden gegenüber dem Konversionsprozess in den Dreiphasenkonvertern ist. In den Einphasenkonvertern die Uebertragung der aktiven Leistung mit Hilfe der zeitlichen Stromharmonischen zweiter Ordnung, durchgeführt dank deren die Welle des resultierenden Stromes verzerrt ist. In den Drehstromkonvertern kommt „die komplexe zyklische Inductanz" zur Wirkung, dank deren der Stromsinor genenüber dem Sinor des magnetischen Flusses verschoben wird. Diese Phasenverschiebung gewährleistet die Energieübertragung. In diesem Konverter ist das dreiphasige Stromsystem symetrisch und sinusförmig. Eingeführt werden auch die Begriffe „Einphasiger reaktiver elektromechanischen Zyklus" und „Dreiphasiger reaktiver elektromechanischer Zyklus".

DK 621.314.2.027.81 : 621

Zickmann, M.: **Die Zweckmässigkeit der Ausführung von Abwärtstransformatoren der Reihe 110 kV mit erhöhter Kurzschlussspannung.**

Electrotehnica **17**, H. 5, mai 1969, S. 179–186

Es werden die Fälle dargelegt, in welchen die Ausführung der Abwärtstransformatoren der Reihe 110 kV mit erhöhter Kurzschlussspannung zweckmässig ist sowie die wirtschaftlichen Folgen der Verwendung solcher Transformatoren für die Abwärtstrafostationen von 110 kV.

DK 621.3.066.6 : 546.78 : 621.318.512 : 629.113

Pîrligras Ecaterina, Minea Silvia und *Antohi, C.*: **Die Untersuchung der Verhaltens von Wolfram kontaktgebern bei Regelrelais von Autos im Beisein von organischen Stoffen und erhöhter Feuchtigkeit.**

Electrotehnica **17**, H. 5, mai 1969, S. 186–190

Im Beisein von Feuchtigkeit und gewisser organischen Stoffe bildet sich auf der Oberfläche von Wolframrelais eine Schicht mit isolierenden Eigenschaften, welche zur Unterbrechung der elektrischen Stromkreise führt. Die vorgenommenen Untersuchungen verfolgten die Feststellung des Agressivitätsgrades der verschiedenen organischen Stoffe, die bei der Herstellung des Regelrelais für Autos verwendet werden, auf die Wolframkontakte. Man untersuchte dabei die isolierten leitenden Stoffe und Spulenisolierungen, die Stoffe zur Tränkung der Spulen, die Stützisolierteile sowie die Dichtungsstoffe.

DK 621.372.51 : 537.311.33

Cristea, P. und *Măgureanu. R.*: **Transduktoren, Photovoltanzeiger für Stand und Geschwindigkeit durch Verwendung von anisotropischen Halbleiterdünnschichten für die Steuerung der elektrischen Maschinen und Anlagen.**

Electrotehnica **17**, H. 5, Mai 1969, S. 190–193

Vorgeschlagen wird die Verwendung der anisotropischen Halbleiterdünnschichten aus Tellur zur Herstellung von Standesanzeiger-Transduktoren bei rotierenden oder geradlinigen Bewegungen. Man zeigt die Verwirklichung eines Tachometers zur Tourenzählung der elektrischen Mikromotoren, eines Steurungsystems der Maschinen mit elektronischer Kommutierung und eines Transduktors für die Standesanzeige bei linearen Bewegungen.

Die Einfachheit, der niedrige Herstellungspreis sowie die grosse Anzeigegeschwindigkeit empfehlen diese Transduktoren für die Industrie, nachdem sie als Erregerelement das sichtbare Spektrum des Lichtes oder die infraroten Strahlungen verwenden.

DK 621.385.2 : 539.1.074

Poenaru, D.: **Kurzschlussbetrieb der Halbleiter-Detektoren für Kernstrahlungen.**

Electrotehnica **17**, H. 5, Mai 1969, S. 193–196

Dargestellt wird die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Stromimpulsformen, die von Halbleiter-Strahlungsdetektoren im Kurzschlussbetrieb ausgesendet werden.

BUCHBESPRECHUNGEN 197–198
REFERATE 198–202
CHRONIK 202–204

CONTENTS

DC 621.3.015.4 : 621.3.018.33
Popescu, I. and *Simion, Al.* : **Some aspects of resonance in the non-linear series electric circuits.**
Electrotehnica 17, nr. 5, mai 1969, p. 165–169

The electric series circuit in which the resistor, the condenser and the coil have in turn the V—A characteristic non-linear is dealt with in unitary form. Due to the non-linearity of the elements the frequency characteristics of the circuit present some stable and non-stable fields leading to many practical applications.

DC 621.313.37.012.1 : 621.314.242.011.1
Nedelcu, V. N. : **A new theory of the reactive motor.**
Electrotehnica **17**, nr. 5 mai 1969, p. 170–178

It is pointed out that the conversion process in the single -phase converters is basically different from that in three-phase converters. Thus, the active power transfer is performed in the single-phase converters through the temporal current harmonic of the second order owing to which the resulting current wave is deformed. In the three-phase converters is obvious the „complex cyclic inductance" due to which the current is displaced in phase against the magnetic flux, this shifting ensuring the transfer of energy. In this converter, the three-phase currents system is symmetrical and sinusoidal. The concepts of „single phase reactive electromechanical cycle" and „three-phase reactive electromechanical cycle" are introduced.

DC 621.314.2.027.81 : 621.3.014.3
Zickman, M. : **Opportunity of using step-down transformers of the 110 KV series with increased short-circuit voltage.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 179–186

The situations in which it is advisable to use step-down transformers of the 110 kV series with increased short-circuit voltage are pointed out as well as the economic effects of the utilisation of such transformers at the 110 kV — step-down transformer stations.

DC 621.3.066.6 : 546.78 : 621.318.512 : 629.113
Pîrligras Ecaterina, Minea Silvia and *Antohi, C* : **Studying the behaviour of wolfram contacts in the motor — car regulating relays in the presence of organic substances in highly humid media.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 186–190

In the presence of humidity and certain organic materials a crust with insulating properties forms on the surface of wolfram contacts this leading to the interruption of circuits in electrical installations.

The works carried out aimed at establishing the aggresiveness degree of different organic materials used in the construction of the motor-car regulating relay to wolfram contacts.

Were studied to this end : insulated conductor materials and coil insulations ; materials for coil impregnation ; insulating support materials ; tightening materials.

DC 621.372.51 : 537.311.33
Cristea, P. and *Măgureanu, R.* : **Photovoltaic position and speed transducers using thin anisotropic semiconductor layers for the control of electric machines and installations.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 190–193

The utilization of thin anisotropic semiconductor tellurium layers for the achieving of the position transducers for rotation or translation movements is suggested. The production of a speedometer for measuring the speed of electric micromotors, of a control system for electronic commutation machines and of a position transducer for linear movements are presented. The simplicity, the low cost price, the high response speed recommend these transducers for industrial use, having as excitation element the light in the spectrum or infrared radiation.

DC 621.385.2 : 539.1.074
Poenaru, D. : **The short circuit regime of nuclear radiations with semiconductors.**
Electrotehnica **17**, nr 5, mai 1969, p. 193–196

The calculus method used for determining the current impulses delivered by the radiation semiconductor detectors in short-circuit regime is described.

REVIEWS 197–198
REPORTS 198–202
CHRONICLE 202–204

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 Nr. 5 București, mai 1969

Unele aspecte ale rezonanței în circuitele electrice neliniare serie

Ilie Popescu și Alexandru Simion* – Iași

CZ 621.3.015. 4; 621.3. 018. 33

Circuitelor electrice neliniare, conținînd un generator de energie sinusoidal, o bobină și un condensator în serie, le corespund ecuații diferențiale neliniare ale căror forme depind de neliniaritățile din circuit.

În cele ce urmează se vor studia cazurile în care în circuitul serie, bobina și respectiv condensatorul, au pe rînd caracteristica voltamper ($V—A$) neliniară, deoarece cazul general cînd ambele elemente au caracteristicile $V—A$ neliniare, simultan, prezintă foarte mari dificultăți de rezolvare.

Se va studia cazul circuitelor electrice L, C serie cînd caracteristicile $V—A$ neliniare prezintă simetrie față de origine (de altfel cele mai frecvente în practică), aproximarea neliniarităților făcîndu-se cu funcții polinomiale. Se va arăta în continuare modul în care influențează neliniaritatea caracteristicilor $V—A$ a elementelor neliniare din circuitul serie forma caracteristicilor de frecvență, $A = f(\omega)$.

Rezonanța în circuitul L, C serie, liniar

În cazul circuitului L, C serie, liniar funcționînd în regim permanent sinusoidal, studiul caracteristicilor de frecvență se efectuează plecînd de la ecuația care descrie funcționarea circuitului din figura 1 și anume :

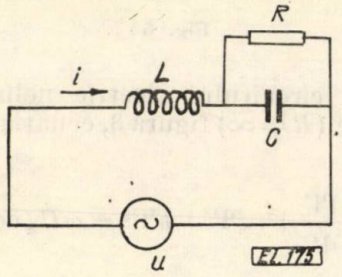


Fig. 1

$$\frac{d^2\Psi}{dt^2} + \frac{1}{RC}\frac{d\Psi}{dt} + \frac{1}{C}i = \omega U_m \cos(\omega t + \varphi). \quad (1)$$

*Ing. *I. Popescu* și *Al. Simion* sînt asistenți la Institutul politehnic din Iași.

Bobina fiind liniară, se poate considera : $\Psi = L \cdot i$.

Introducînd (2) în (1) se obține :

$$L\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{L}{RC}\cdot\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\cdot i = \omega U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi),$$

sau : (3)

$$\frac{d^2i}{dt^2} + 2\beta\frac{di}{dt} + \omega_0^2 \cdot i = \omega G_c \cos\omega t + \omega G_s \sin\omega t, \quad (4)$$

unde :

$$2\beta = \frac{1}{RC};\ \omega_0^2 = \frac{1}{LC};\ G_c = \frac{U_m}{L}\cos\varphi;\ G_s = -\frac{U_m}{L}\sin\varphi. \quad (5)$$

Se caută soluția acestei ecuații diferențiale neliniare sub forma :

$$i = \sum_{k=0}^{\infty} A_k e^{a_k t} \cdot \cos(k\omega t + b_k). \quad (6)$$

Pentru studiul regimului permanent, care interesează în lucrarea de față, și pentru a simplifica calculul (cu o aproximație verificată la calculatorul cifric MECIPT 1) se poate căuta soluția ecuației (4) sub forma mult mai simplă :

$$i = A\cos\omega t, \quad (7)$$

eroarea fiind destul de mică, pentru ω avînd același ordin de mărime ca ω_0, φ exprimă defazajul dintre tensiunea aplicată și curentul din circuit.

Introducînd (7) în (4) se obțin relațiile :

$$(\omega_0^2 - \omega^2)\cdot A = \omega G_c;\ -2\beta\omega A = \omega G_s \quad (8)$$

respectiv :

$$(\omega_0^2 - \omega^2)^2 \cdot A^2 + 4\omega^2\beta^2 A^2 = \omega^2 (G_c^2 + G_s^2) = \omega^2 G^2. \quad (9)$$

Din expresia (9) rezultă imediat caracteristicile de frecvență pentru circuitul din figura 1

$$|A| = \frac{G}{\sqrt{\left[\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2 - 1\right]^2 \omega^3 + 4\beta^2}} \qquad (10)$$

trasate în figura 2.

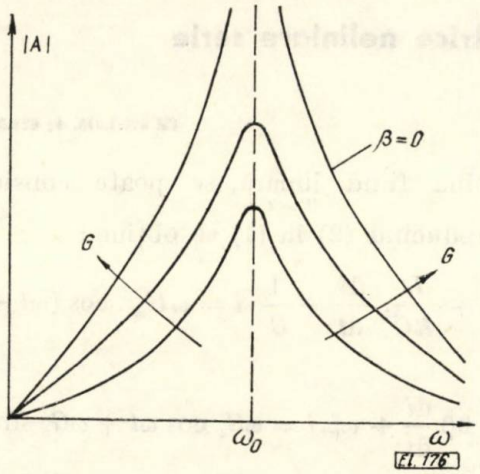


Fig. 2

Rezonanța în circuitele L, C serie cu bobină neliniară

Fie un circuit electric, conținînd un condensator liniar în serie cu o bobină a cărei caracteristică $V—A$ este neliniară, alimentat la o sursă de tensiune sinusoidală. Considerînd inițial circuitul electric fără disipații ($R \to \infty$; $\varphi = 0$) reprezentat în figura 3 și înlocuind în ecuația (1) expresia :

$$i = a_1\Psi + a_3\Psi^3 \qquad (11)$$

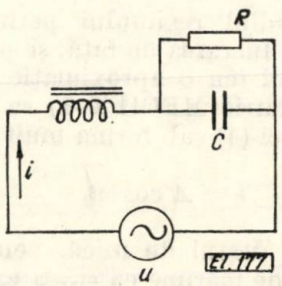


Fig. 3

a caracteristicii $V—A$ a bobinei neliniare (fig 4) se obține ecuația :

$$\frac{d^2\Psi}{dt^2} + \omega_0^2\Psi + h\Psi^3 = \omega U_m \cos \omega t \qquad (12)$$

de tip Duffing, unde :

$$\frac{1}{C} a_1 = \omega_0^2; \quad \frac{1}{C} a_3 = h. \qquad (13)$$

Se caută soluția ecuației (12) sub forma :

$$\Psi = A \cos \omega t \qquad (14)$$

și se obține ecuația algebrică :

$$\frac{3}{4} hA^3 + (\omega_0^2 - \omega^2) A - \omega U_m = 0 \qquad (15)$$

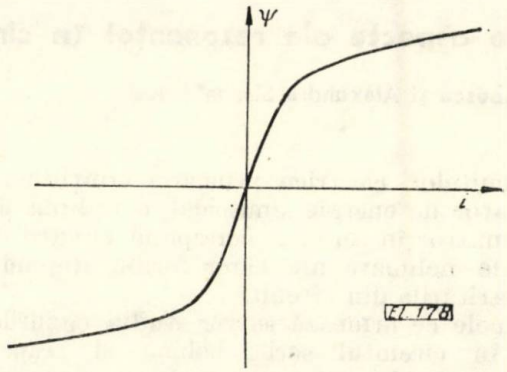


Fig. 4

reprezentată în figura 5. În cazul cînd $h \neq 0$ se obține, pentru familia caracteristicilor de rezonanță (de frecvență) la $U_m = 0$, următoarea asimptotă, dată de relația :

$$\omega^2 = \omega_0^2 + \frac{3}{4} hA^2. \qquad (16)$$

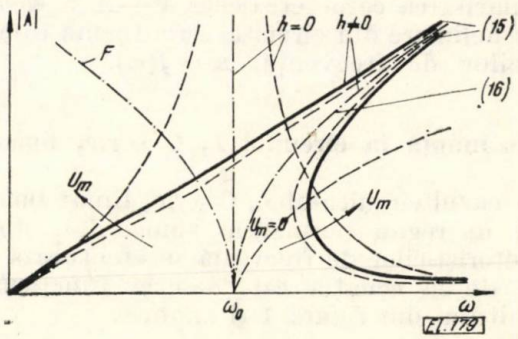


Fig. 5

În cazul circuitului electric neliniar serie, cu disipație ($R \neq \infty$) figura 3, ecuația circuitului devine :

$$\frac{d^2\Psi}{dt^2} + 2\beta \frac{d\Psi}{dt} + \omega_0^2\Psi + h\Psi^3 = \omega U_m \cos(\omega t + \varphi). \qquad (17)$$

Se determină și în acest caz soluția de regim permanent sub forma (14) și se ajunge la ecuația :

$$\left[(\omega_0^2 - \omega^2) A + \frac{3}{4} hA^3\right]^2 + 4\omega^2\beta^2 A^2 = \omega^2 U_m^2 \qquad (18)$$

a familiei de caracteristici de rezonanță, reprezentată în figura 6.

Extremele ecuației (18) se deduc din condiția :

$$\frac{d\omega^2}{dA} = 0, \tag{19}$$

obținîndu-se :

$$A\left\{\left[(\omega_0^2 - \omega^2) + \frac{3}{4}hA^2\right]\left[(\omega_0^2 - \omega^2) + \frac{9h}{4}A^2\right] + 4\beta^2\omega^2\right\} = 0. \tag{20}$$

Cazul $A = 0$ nu are sens. Pentru circuitul cu disipație nulă ($R = \infty$, $\beta = 0$), se obține

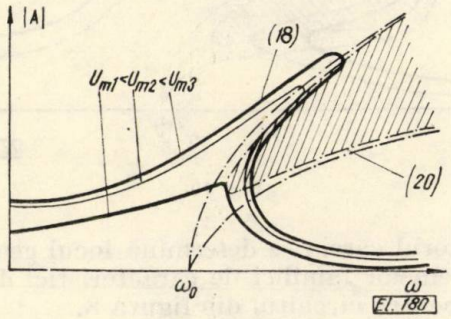


Fig. 6

locul geometric al extremelor familiei de caracteristici $A = f(\omega)$, anume : (16) și

$$\omega_0^2 - \omega^2 + \frac{9}{4}hA^2 = 0. \tag{21}$$

În cazul cînd $\beta \neq 0$ ecuațiile (16) și (21) devin asimptote pentru ecuația (20). Din expresia (20) se observă că o dată cu creșterea disipației, domeniul nestabil de funcționare al circuitului (domeniul haşurat din figura 6) se micşorează.

Rezonanța în circuitele L C, serie cu condensator neliniar

În cazul unui circuit electric, conținînd o bobină liniară în serie cu un condensator neliniar de caracteristică $u_c = f(q)$ dată de relația (fig. 7) :

$$u_c = b_1 q + b_3 q^3, \tag{22}$$

pentru disipație nulă, ecuația devine de forma :

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{L}(b_1 q + b_3 q^3) = \frac{U_m}{L}\sin \omega t. \tag{23}$$

Căutînd soluția sub forma :

$$q = Q \cdot \sin \omega t \tag{24}$$

se ajunge în mod similar la caracteristici de frecvență $Q(\omega)$ de forma caracteristicilor $A(\omega)$ studiate mai înainte, de asimptotă F cu

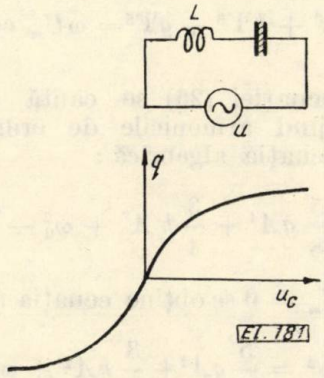


Fig. 7

înclinația în sens invers decît la bobina cu caracteristica V—A neliniară, dată de ecuația (16) și reprezentată în figura 5.

Rezonanța în circuitele L, C serie cu bobină neliniară comandată în curent continuu

În acest paragraf se va studia circuitul electric neliniar conținînd un condensator liniar în serie cu o bobină neliniară comandată în curent continuu cu caracteristică V—A dată de ecuația :

$$i = a_1\Psi + a_3\Psi^3 + a_5\Psi^5, \tag{25}$$

unde : a_1, $a_5 > 0$, iar $a_3 < 0$.

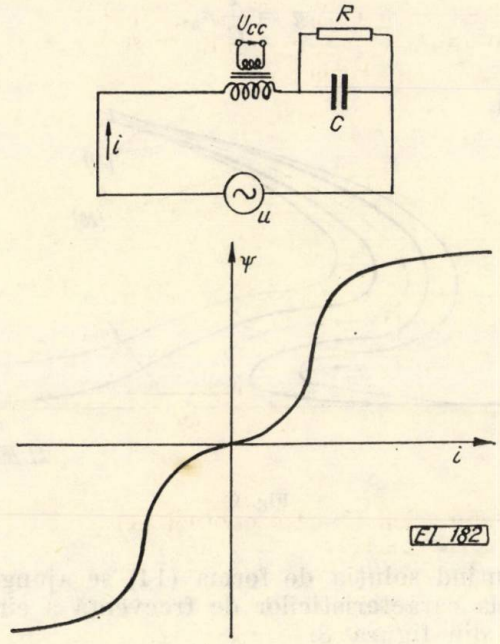


Fig. 8

Circuitele electrice neliniare cu bobine comandate sînt foarte răspîndite în practică, studiul lor teoretic prezintă însă mari dificultăți. Ini-

ţial, considerînd cazul circuitului fără disipaţie, ecuaţia circuitului, folosindu-ne de relaţia (25), devine :

$$\frac{d^2\Psi}{dt^2} + \omega_0^2\Psi + h\Psi^3 + g\Psi^5 = \omega U_m \cos \omega t. \quad (26)$$

Soluţia ecuaţiei (26) se caută sub forma (14). Neglijînd armonicile de ordin superior se obţine ecuaţia algebrică :

$$\omega^2 = \frac{5}{8} gA^4 + \frac{3}{4} h A^2 + \omega_0^2 - \frac{\omega U_m}{A}. \quad (27)$$

Pentru $U_m = 0$ se obţine ecuaţia asimptotei :

$$\omega^2 = \frac{5}{8} gA^4 + \frac{3}{4} hA^2 + \omega_0^2 \quad (28)$$

reprezentată în curba din figura 9.

Dacă $U_m \neq 0$, se obţin caracteristicile de frecvenţă (27) cu asimptota dată de ecuaţia (28).

Luînd în considerare disipaţiile din circuit ($R \neq \infty$) se obţine următoarea ecuaţie pentru cazul general al circuitului cu bobină comandată.

$$\frac{d^2\Psi}{dt^2} + 2\beta \frac{d\Psi}{dt} + \omega_0^2\Psi + h\Psi^3 + g\Psi^5 = \omega U_m \cos(\omega t + \varphi), \quad (29)$$

unde :

$$g = \frac{1}{C} a_5. \quad (30)$$

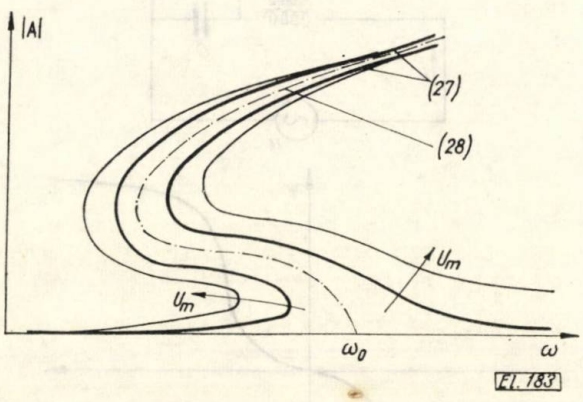


Fig. 9

Căutînd soluţia de forma (14) se ajunge la ecuaţia caracteristicilor de frecvenţă a circuitului din figura 8.

$$A^2\left[(\omega_0^2 - \omega^2) + \frac{3}{4} hA^2 + \frac{5}{8} gA^4\right]^2 + 4\omega^2\beta^2 A^2 = \omega^2 U_m^2. \quad (31)$$

Pentru a afla extremele ecuaţiei se impune condiţia (19) obţinîndu-se ecuaţia :

$$A\left\{\left[(\omega_0^2 - \omega^2) + \frac{3}{4} hA^2 + \frac{5}{8} gA^4\right]\left[(\omega_0^2 - \omega^2) + \frac{9}{4} hA^2 + \frac{25}{8} gA^4\right] + 4\omega^2\beta^2\right\} = 0 \quad (32)$$

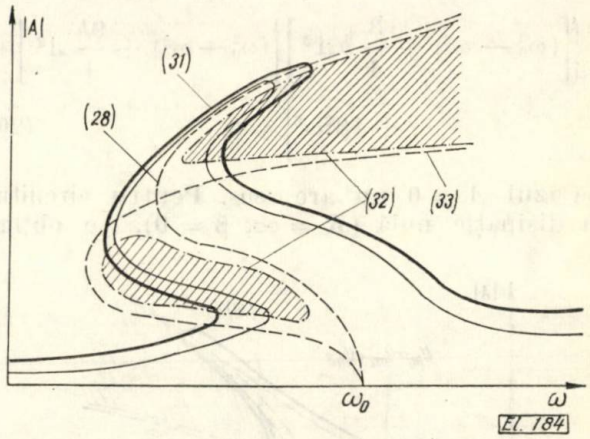


Fig. 10

cu ajutorul căreia se determină locul geometric al extremelor familiei de caracteristici de frecvenţă pentru circuitul din figura 8.

În cazul particular cînd $R = \infty$ deci $\beta = 0$ se obţin asimptotele (28) şi respectiv :

$$\omega^2 = \frac{25}{8} gA^4 + \frac{9}{4} hA^2 + \omega_0^2 \quad (33)$$

reprezentate în figura 10.

Pentru cazul real, cînd $\beta \neq 0$ se obţin domeniile de funcţionare stabilă a circuitului. Domeniile haşurate din figura 10 sînt nestabile fiind limitate de ecuaţia (32). Astfel de circuite electrice neliniare conţinînd o bobină comandată în serie cu un condensator liniar poartă denumirea de circuite dubluferorezonante serie, fiind foarte răspîndite în practică.

Rezultate experimentale

Se observă că în anumite limite ale frecvenţei, uşor de determinat cu ajutorul ecuaţiei (31), se obţin pentru semnalul din circuit (curent) cinci valori dintre care numai trei sînt stabile (fig. 10).

În domeniul de frecvenţă cuprins între ω_2' şi ω_3' se observă că circuitul prezintă trei stări stabile de funcţionare. În cazul în care, funcţie de parametrii circuitului, din ecuaţia (31) rezultă $\omega_3' \leqslant \omega_2'$, este eliminat domeniul de funcţionare tristabilă a circuitului şi circuitul are o comportare bistabilă ca a unui circuit neliniar serie cu bobină necomandată (fig. 3 şi respectiv fig. 4) cu două zone distincte de funcţionare.

Studiul experimental al unui astfel de circuit s-a efectuat cu ajutorul montajului reprezentat în figura 12 în care :

G.F. — generator tip RC Tesla ;

A — amplificator de frecvenţă audio construit în laborator ;

C — condensator tip „Ulrich" ;

R — rezistor în decade tip „Metra".

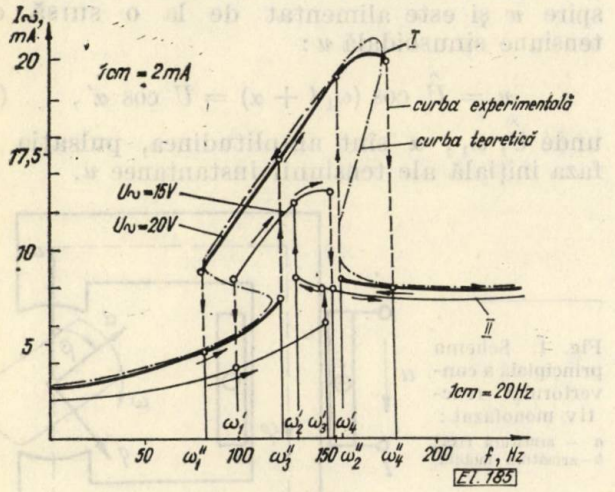


Fig. 11

Ca bobină comandată s-a folosit un amplificator magnetic italian tip ZK—115.

În figura 11 s-au trasat caracteristicile de rezonanţă pentru două cazuri şi anume : curba *I* pentru valorile $U = 20\,V$, $I_{cc} = 15$ mA, $C = 04\mu F$ care prezintă două zone distincte de funcţionare ca releu bistabil ($\omega_1'' - \omega_3''$; $\omega_4'' - \omega_2''$) ; curba *II* pentru valorile $U = 15V$, $I_{cc} = 15$ mA, $C = 04\mu F$, prezentînd un domeniu tristabil de funcţionare pentru : $\omega_2' \leqslant \omega \leqslant \omega_3'$ şi două domenii bistabile de funcţionare.

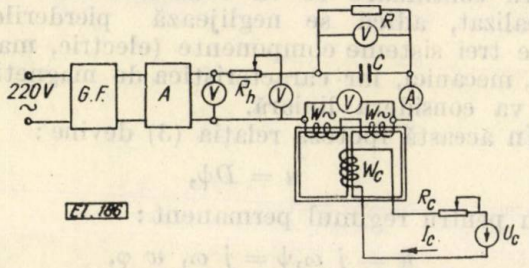


Fig. 12

Mărind valoarea tensiunii aplicate la bornele circuitului din figura 11 se ajunge la cazul cînd circuitul prezintă un singur domeniu bistabil pentru $\omega_3' > \omega_1'$.

Concluzii

— Se observă că tratarea analitică a circuitului electric neliniar serie (cu elemente neliniare de tip comandat) în regim permanent, este suficient de exactă, cu toată neglijarea armonicelor de ordin superior, şi pentru frecvenţe nu prea îndepărtate de f_0. Coincidenţa rezultatelor experimentale cu cele teoretice a fost verificată cu ajutorul calculatorului cifric MECIPT 1, cu o precizie de $10^{-5}\,\omega_0^2$.

— Pentru analiza completă a circuitului electric neliniar serie trebuie trasate familiile caracteristicilor de frecvenţă pentru toate mărimile din circuit şi de asemenea familia de caracteristici ale semnalului răspuns din circuit la variaţia celorlalţi parametri.

— Se pot realiza pe acest principiu relee electrice fără contacte de tip dubluferorezonant, avînd două domenii bistabile (înlocuind două relee fără contacte obişnuite), sau un domeniu tristabil.

— În cazul cînd parametrii din circuit iau valori limită (care se pot calcula) circuitul electric neliniar serie poate fi folosit ca stabilizator de tensiune sau curent pentru un domeniu întins de stabilizare şi de la valori iniţiale mici.

— Modificînd în continuare parametrii circuitului neliniar serie se poate ajunge la folosirea lui ca traductor amplificator în raport cu oricare parametru din circuit (R, C, ω, I_{cc},..).

— De asemenea dispozitivul de tip dubluferorezonant poate fi folosit ca modulator de amplitudine şi multiplicator de frecvenţă.

— Circuitul neliniar serie (cu bobină neliniară comandată în curent continuu) de tip dubluferorezonant reprezintă un nou tip de element logic cu trei stări de funcţionare (cu trei poziţii).

Bibliografie

[1] *Savin. Gh., Simion, E.* şi *Popescu, I.* Circuits à double ferroresonance utilisant des bobines à noyaux ferromagnétique magnetisée en courant continuu. În : R. G. E., t. **74**, nr. 5, 1965, p. 393—396.

[2] *Cunningham, W. J.* Analyse non lineaire. Paris, Dunod, 1963.

[3] *Hayashi, Ch.* Nonlinear Oscilations in Physical Systems. New York. McGraw-Hill Book Company, 1964.

[4] *Simion, E.* Circuit parallèle, double ferrorésonant avec des paramètres variables, In : Bul. I. P. Iaşi t. XII (**XVIII**), nr. 1, 2, 1968.

[5] *Grzemba, G.* Untersuchungen am vormagnetisierten Ferroresonanzkreis. În : Wiss. Z. der Tech. Hochsch., Ilmenau 9, H. 4, 1963.

[6] *Stănciulescu, Fl.* Beitrag zur Theorie und Berechnung electriecher Stromkreise mit nichtlinearen Elementen. În : Archiv für Electrotechnik **47**, 1963, S. 291—301, Heft 5.

[7] *Boning, W.* Schaltvorgange in Gleichstrom Kreisen mit nichtlinearen Widerstand und nichtlinearen. În : Induktivität **46**, Heft 2, 1961, S. 103.

[8] *Vroman, J.* Ferroresonantie in een seriekten. În : Revue E., vol. **IV**, nr. 12, 1965.

Intrat în redacţie la 7.V.1968

O nouă teorie a motorului reactiv

Vasile Nedelcu* — București

CZ 621.313.37.012.1 ; 621.314.242.011 .1

1. Considerații generale

Motorul reactiv mono și trifazat, în diversele sale variante constructive, cunoaște în etapa actuală de dezvoltare a tehnicii un interes crescînd [1] — [13]. Deși în literatura tehnică mondială teoriei acestui tip special de convertor electromecanic îi sînt consacrate un mare număr de lucrări, sînt încă multe aspecte teoretice fundamentale neclarificate ale acesteia.

Dintre acestea cel mai important este însăși fenomenul de conversiune energetică care, în afară de faptul că se consideră identic atît în convertoarele mono și trifazate [1] — [3], pînă în prezent nu a căpătat o explicație satisfăcătoare nici în lucrările consacrate conversiunii electromecanice [18], [19], nici în alte lucrări destinate special teoriei acestui tip de motor. Chiar denumirea de „motor reactiv" utilizată în literatură (paralel cu denumirea de „motor de reluctanță") considerată „neindicată" de unii autori [6], nu este de nimeni justificată.

Teoria existentă a motorului reactiv se limitează la stabilirea ecuațiilor de funcționare ale motorului reactiv trifazat în sistemul de coordonate d, q, de obicei, acesta fiind considerat un caz particular al mașinii sincrone trifazate cu poli aparenți; referitor la motorul monofazat, teoria acestuia se rezumă la stabilirea expresiei cuplului electromagnetic sincron. După cum s-a arătat și în alte lucrări ale autorului [16], [17], utilizarea sistemului de coordonate d, q chiar la analiza procesului de conversiune energetică, care se desfășoară în mașinile normale trifazate, nu conduce totdeauna la rezultate corecte, fiind estompate unele aspecte esențiale ale procesului electromagnetic.

În această lucrare se scot în evidență caracteristicile fundamentale ale procesului de conversiune electromecanică în acest tip de convertor care, pînă în prezent, nu au fost relevate în literatura de specialitate.

În acest scop va fi utilizată noțiunea de „putere aparentă complexă instantanee", introdusă anterior de autor [14], și va fi utilizată „O nouă teoremă a conversiunii electromecanice" [15].

2. Convertorul reactiv monofazat

Mai întîi va fi analizat mecanismul fizic al conversiunii electromecanice într-un convertor reactiv monofazat (fig. 1) în regim electromecanic permanent.

Unghiul β poate fi exprimat prin relația :

$$\beta = \omega t + \beta_0, \qquad (1)$$

unde ω este viteza unghiulară de rotație a piesei mobile, β_0 este valoarea inițială ($t = 0$) a unghiului β.

Sistemul electric constă dintr-un număr de spire w și este alimentat de la o sursă de tensiune sinusoidală u :

$$u = \hat{U} \cos(\omega_1 t + \alpha) = \hat{U} \cos \alpha', \qquad (2)$$

unde $\hat{U}$, ω_1, α sînt amplitudinea, pulsația și faza inițială ale tensiunii instantanee u.

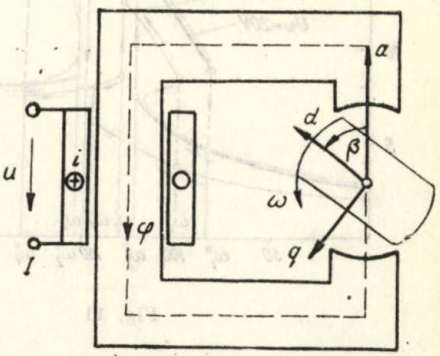


Fig. 1. Schema principială a convertorului reactiv monofazat : *a* — armătura fixă; *b* — armătura mobilă.

Dacă se aplică teorema a II-a a lui Kirchhoff, adoptîndu-se regula dipolului receptor de asociere a sensurilor pozitive pentru mărimile electrice, se poate scrie relația :

$$u = D\psi + Ri; \quad (D = \mathrm{d}/\mathrm{d}t), \qquad (3)$$

unde u, ψ, i sînt valorile instantanee ale tensiunii aplicate la borne, fluxului magnetic total și curentului din circuit.

În continuare se va considera convertorul idealizat, adică se neglijează pierderile în cele trei sisteme componente (electric, magnetic, mecanic), iar caracteristica de magnetizare se va considera liniară.

În această ipoteză relația (3) devine :

$$u = D\psi, \qquad (3')$$

sau pentru regimul permanent :

$$\underline{u} = j\,\omega_1 \underline{\psi} = j\,\omega_1\, w\, \underline{\varphi}, \qquad (3'')$$

unde $\underline{u}$, $\underline{\psi}$, $\underline{\varphi}$ sînt sinorii corespunzători mărimilor instantanee, u, ψ, φ :

$$\underline{u} = \hat{U} e^{j\alpha'}; \quad \underline{\psi} = \hat{\psi} e^{j\alpha''}; \quad \underline{\varphi} = \hat{\Phi} e^{j\alpha''}, \qquad (4)$$

unde α'' are expresia :

$$\alpha'' = \omega_1 t + \alpha - \pi/2. \qquad (5)$$

Între imaginile sinoriale și mărimile originale există relațiile biunivoce :

$$u = \mathrm{Re}(\underline{u}); \quad \psi = \mathrm{Re}(\underline{\psi}); \quad \varphi = \mathrm{Re}(\underline{\varphi}). \qquad (6)$$

*) Dr. ing. *V. N. Nedelcu* este profesor la catedra de Mașini electrice din Institutul politehnic — București.

Relaţia (3″) este fundamentală pentru înţelegerea procesului de funcţionare al convertorului: aceasta arată că la $\hat{U}$, $\omega_1 = \text{const.}$ sinorii $\underline{\psi}$, $\underline{\Phi}$ vor fi de amplitudine constantă ($\hat{\psi}$, $\hat{\Phi} = \text{const.}$) şi defazaţi în urma sinorului $\underline{u}$ la $\pi/2$ rad. el., indiferent de inductanţa circuitului.

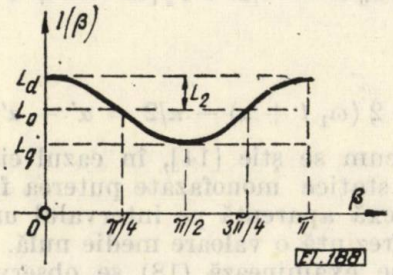


Fig. 2. Variaţia inductanţei proprii totale în funcţie de unghiul spaţial β: $l(\beta) = f(\beta)$: $L_0 = 1/2 \cdot (L_d + L_q)$; $L_2 = 1/2 \cdot (L_d - L_q)$.

Pe de altă parte, fluxul ψ este legat de curentul i prin relaţia:

$$\psi = l(\beta)\ \mathrm{i}, \qquad (7)$$

unde l (β) este inductanţa circuitului electric, care prin intermediul unghiului β este o funcţie implicită de timp.

În figura 2 este reprezentată grafic curba $l(\beta) = f(\beta)$.

Funcţia temporală (8) poate fi reprezentată simbolic prin intermediul sinorilor $\underline{l}(\beta)$, $\underline{l}^*(\beta)$, avînd în vedere identitatea (fig. 3):

$$l(\beta) = 1/2 \cdot [\underline{l}(\beta) + \underline{l}^*(\beta)], \qquad (9)$$

unde:

$$\underline{l}(\beta) = L_0 + \underline{l}_2;\ \underline{l}^*(\beta) = L_0 + \underline{l}_2^*.$$

Dacă se consideră (6), (7), (8) pentru i se obţine expresia (fig. 4):

$$i = (\hat{I}_0 - \hat{I}_2 \cos 2\beta) \cos \alpha''. \qquad (10)$$

unde:

$$\hat{I}_0 = 1/2\ (\hat{I}_q + \hat{I}_d);\ \hat{I}_2 = 1/2.\ (\hat{I}_q - \hat{I}_d), \qquad (10')$$

cu:

$$\hat{I}_q = \hat{U}/X_q;\ \hat{I}_d = \hat{U}/X_d, \qquad (10'')$$

iar X_d, X_q sînt reactanţele sincrone longitudinală şi transversală:

$$X_d = \omega_1 L_d;\ X_q = \omega_1 L_q. \qquad (10''')$$

Relaţia (10) arată că unda curentului absorbit de circuitul receptorului prezintă o modulaţie de amplitudine, pentru a compensa variaţia inductanţei l (β) (8).

În figura 5 sînt reprezentaţi sinorii $\underline{u}$, $\underline{\Phi}$, $\underline{i}$. După cum rezultă din figura 5, sinorul $\underline{i}$ este în fază cu sinorul $\underline{\Phi}$, iar amplitudinea sa,

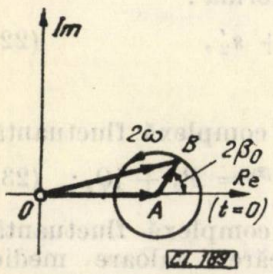


Fig. 3. Reprezentarea grafică a inductanţei complexe l (β): $L_0 = OA$; $\underline{l}_2 = \underline{AB}$; $\underline{l}(\beta) = OB$.

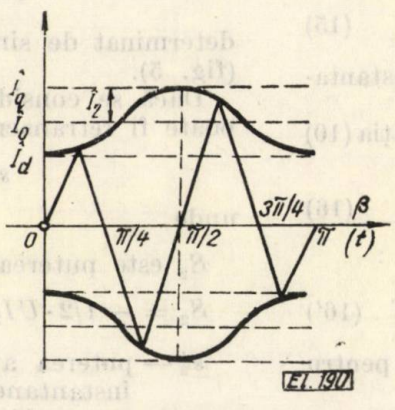


Fig. 4. Reprezentarea grafică a curentului i: $i = f(\beta, t)$.

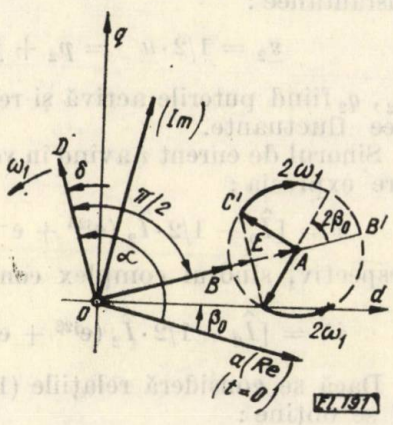


Fig. 5. Reprezentarea grafică a sinorilor $\underline{u}$, $\underline{\Phi}$, $\underline{i}$: $\underline{u} = OD$; $\underline{\Phi} = OB$; $\underline{i} = OE$; $\underline{i}_0 = OA$; $AC = I_2 e^{j2\beta}$; $AC' = I_2 e^{-j2\beta}$.

Dacă se neglijează armonicele spaţiale pare de ordin superior ordinului 2, poate fi scrisă următoarea expresie pentru $l(\beta)$:

$$l\,(\beta) = L_0 + L_2 \cos 2\ \beta, \qquad (8)$$

unde L_d, L_q sînt inductanţele proprii totale longitudinală (d) şi transversală (q).

în decursul variaţiei unghiului β pe intervalul $\Delta\beta = \pi$ rad. el., înregistrează o valoare minimă, egală cu I_d ($I_d = OB$) şi una maximă, egală cu I_q ($I_q = OB'$).

Pentru a analiza procesul de conversiune electromecanică este necesar să se stabilească condiţiile care trebuie îndeplinite pentru ca să fie posibil un transfer de energie prin cele trei

sisteme componente ale convertorului: electric, magnetic, mecanic. Fizic și matematic aceste condiții sînt îndeplinite cînd energia asociată unui sistem tinde către infinit dacă variabila t tinde către infinit.

Deoarece s-a admis ipoteza convertorului idealizat, transferul de energie se produce fără pierderi, ceea ce înseamnă că la un moment dat, puterea medie trebuie identificată în toate cele trei sisteme.

Schimbul de putere activă și reactivă, efectuat prin bornele sistemului electric cu rețeaua, la care este cuplat, poate fi controlat prin intermediul „puterii aparente complexe instantanee" [14].

Expresia puterii aparente complexe instantanee $\underline{s}$ este:

$$\underline{s} = \underline{u}\,i = 1/2 \cdot \underline{u}(\underline{i} + \underline{i}^*) = p + \mathrm{j}q = \underline{S} + \underline{s}_2, \quad (11)$$

unde:

$\underline{u} = u + j\,u' = \hat{U}\,e^{j\alpha'}$ este sinorul de tensiune;

$$u' = \hat{U} \sin \alpha' = \hat{U} \cos \alpha''; \quad (12')$$

p, q — puterile activă și reactivă instantanee

$$p = u\,i,\ q = u'\,i; \quad (13)$$

$\underline{S}$ — puterea aparentă complexă medie

$$\underline{S} = 1/2 \cdot \underline{u}\,\underline{i}^* = P + \mathrm{j}Q, \quad (14)$$

P, Q fiind puterile medii activă și reactivă;

$\underline{s}_2$ — puterea complexă aparentă fluctuantă instantanee:

$$\underline{s}_2 = 1/2 \cdot \underline{u}_- = p_2 + \mathrm{j}\,q_2, \quad (15)$$

p_2, q_2 fiind puterile activă și reactivă instantanee fluctuante.

Sinorul de curent $\underline{i}$ avînd în vedere relația (10) are expresia:

$$\underline{i} = [\hat{I}_0 - 1/2 \cdot \hat{I}_2 (e^{j2\beta} + e^{-j2\beta})]e^{j\alpha''}, \quad (16)$$

respectiv, sinorul complex conjugat $\underline{i}^*$:

$$i^* = [\hat{I}_0 - 1/2 \cdot \hat{I}_2 (e^{j2\beta} + e^{-j2\beta})]e^{-j\alpha''}. \quad (16')$$

Dacă se consideră relațiile (12), (16') pentru $\underline{S}$ se obține:

$$\underline{S} = 1/2 \cdot \hat{U}\,\hat{I}_0\,e^{j\pi/2} - 1/2 \cdot \hat{U}\,\hat{I}_2\,e^{j\pi,2} \cos 2\beta. \quad (17)$$

Formula (17) arată că puterea aparentă complexă medie $\underline{S}$ se confundă cu componenta sa reactivă Q, care constă dintr-o componentă constantă Q_0 și una fluctuantă $q_{2\beta}$ a cărei pulsație este egală cu dublul vitezei unghiulare de rotație a rotorului:

$$\underline{S} = \mathrm{j}\,Q = \mathrm{j}\,(Q_0 + q_{2\beta});\ P = 0, \quad (17')$$

unde:

$$Q_0 = U\,I_0;\ q_{2\beta} = -\,U\,I_2 \cos 2\,\beta. \quad (17'')$$

Pe de altă parte, formula (17) constituie dovada corectitudinii denumirii de „motor reactiv" pentru acest convertor, astfel încît observația că această denumire este „nereușită" [6] nu este întemeiată.

Dacă se consideră relațiile (12), (16) pentru $\underline{s}_2$ se obține:

$$\underline{s}_2 = U\,I_0\,e^{j\lambda} - 1/2 \cdot U\,I_2\,[e^{j(2\beta+\lambda)} + e^{-j(2\beta-\lambda)}], \quad (18)$$

unde:

$$\lambda = 2\,(\omega_1\,t + \alpha) - \pi/2 = \alpha' + \alpha''. \quad (19)$$

După cum se știe [14], în cazul circuitelor electrice statice monofazate puterea fluctuantă complexă aparentă pe intervalul unei perioade T prezintă o valoare medie nulă.

Dacă se examinează (18) se observă că în cazul circuitului analizat, valoarea medie a mărimii $\underline{s}_2$ poate fi diferită de zero, dacă este satisfăcută condiția:

$$2\beta - \lambda = \text{const.} \quad (20)$$

Avînd în vedere (19) condiția (20) este satisfăcută dacă:

$$\omega = \omega_1. \quad (20')$$

În acest caz condiția (20) devine:

$$2\beta - \lambda = -\,(2\delta + \pi/2), \quad (21)$$

unde δ este unghiul intern de funcționare sau unghiul de sarcină al mașinii*;

$$\delta = \alpha - \beta_0 - \pi/2, \quad (21')$$

determinat de sinorul $\underline{u}$ și axa transversală q (fig. 5).

Dacă se consideră relația (21), relația (18) poate fi retranscrisă în forma:

$$\underline{s}_2 = \underline{S}_2 + \underline{s}_2', \quad (22)$$

unde

$\underline{S}_2$ este puterea medie complexă fluctuantă

$$\underline{S}_2 = -\,1/2 \cdot UI_2\,e^{-j(2\delta+\pi/2)} = P_2 + \mathrm{j}Q_2; \quad (23)$$

$\underline{s}_2'$ — puterea aparentă complexă fluctuantă instantanee (a cărei valoare medie este nulă)

$$\underline{s}_2' = UI_0\,e^{j\lambda} - 1/2 \cdot UI_2\,e^{j(2\beta+\lambda)}. \quad (24)$$

Expresiile puterilor activă și reactivă medii P_2 și Q_2 asociate cu puterea aparentă fluctuantă se obțin ca partea reală și imaginară ale expresiei (23):

$$P_2 = 1/2 \cdot UI_2 \sin 2\delta; \quad (25)$$

$$Q_2 = -\,1/2 \cdot UI_2 \cos 2\delta, \quad (26)$$

* Interpretarea dată în [2], unghiului δ, fig. 2—5, *a*, p. 52 nu este corectă.

sau considerînd relaţia (10):

$$P_2 = 1/4 \cdot U^2 [1/X_q - 1/X_d] \sin 2\delta; \quad (25')$$

$$Q_2 = -1/4 \cdot U^2 [1/X_q - 1/X_d] \cos 2\delta. \quad (26')$$

Puterea medie complexă aparentă totală $\underline{S}'$ reprezintă suma puterilor $\underline{S}$ şi $\underline{S}_2$ (fig. 6):

$$\underline{S}' = \underline{S} + \underline{S}_2 = P_2 + j(Q_0 - Q_2). \quad (27)$$

Formulele (17), (22), respectiv (23), scot în evidenţă particularităţile funcţionale ale convertorului reactiv monofazat în raport cu circuitele monofazate în care unda de curent nu prezintă modulaţie de amplitudine, respectiv armonica sincronă de ordin 2; deoarece sinorul de curent $\underline{i}$ este defazat în timp la $\pi/2$ rad. el., în urma sinorului de tensiune $\underline{u}$ armonica fundamentală a curentului transportă numai puterea reactivă Q_0 în timp ce puterea activă P_2 este transportată de puterea fluctuantă, respectiv de armonica sincronă de ordin 2 a curentului. În acest caz noţiunea de factor de putere trebuie interpretată în adevăratul înţeles al cuvîntului adică: raportul dintre puterea medie activă P_2 şi medie aparentă S' (fig. 6):

$$\cos\varphi = P_2/S' = P_2/\sqrt{P_2^2 + (Q_0 - Q_2)^2}. \quad (28)$$

Valoarea maximă a factorului de putere se obţine atunci cînd fazorul $\underline{S}'$ devine tangent la cercul de rază S_2 ($\varphi = \varphi_{min}$).

Formulele de mai sus arată că, în afară de puterea medie complexă $\underline{S}'$, convertorul monofazat mai schimbă cu sursa o putere fluctuantă activă şi reactivă de pulsaţie $2\omega_1$ şi $4\omega_1$.

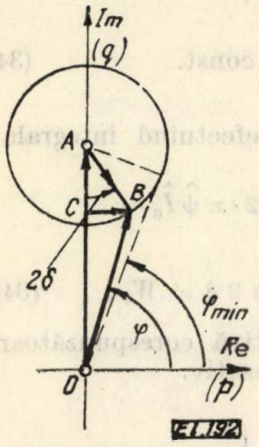


Fig. 6. Cu privire la determinarea noţiunii de „factor de putere" la convertorul reactiv monofazat: $OA = Q_0$; $AB = S_2$; $OB = S'$; $AC = Q_2$; $CB = P_2$.

În figura 7 sînt reprezentate locurile geometrice pe care le descrie vîrful sinorilor $\underline{u}$, $\underline{\varphi}$, $\underline{i}$ în decursul unei perioade T de variaţie a tensiunii pentru următoarele valori particulare ale defazajelor δ, α, β_0: $\delta = 0$; $\alpha = \pi/2$; $\beta_0 = 0$.

După cum se vede, sinorul $\underline{i}$ descrie locul geometric BB_1B_2B.

În figura 8 este reprezentat ciclul $\varphi = f(i)$ pentru regimul din figura 7.

În figura 9 sînt reprezentate locurile geometrice descrise de sinorii $\underline{u}$, $\underline{\varphi}$, $\underline{i}$, pentru următoarele valori particulare ale unghiurilor δ, α, β_0: $\delta = \pi/4$; $\alpha = \pi/2$; $\beta_0 = -\pi/4$ rad. el.

În acest caz sinorul $\underline{i}$ descrie locul geometric $AA_1A_2A_3A$.

În figura 10 este reprezentat ciclul $\varphi = f(i)$ pentru regimul din figura 9.

În figura 11 este reprezentată unda curentului.

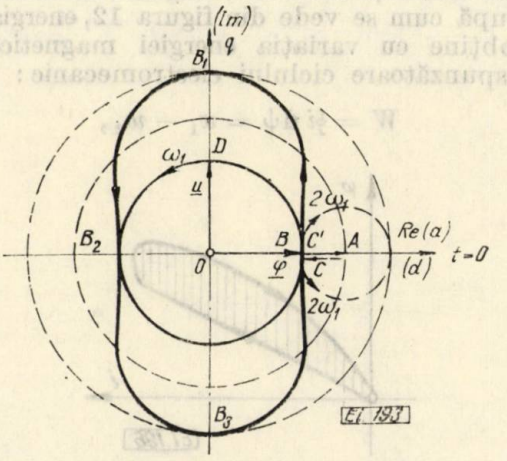
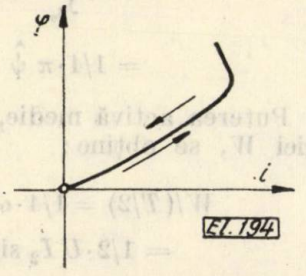


Fig. 7. Locurile geometrice descrise de sinorii $\underline{u}$, $\underline{\varphi}$, $\underline{i}$: $\delta = 0$; $\alpha = \pi/2$; $\beta_0 = 0$.

Transferul puterii de la sistemul electric la sistemul mecanic al convertorului este asigurat de sistemul magnetic prin mecanismul „ciclului electromecanic" [15].

Fig. 8. Ciclul electromecanic reactiv monofazat corespunzător regimului din figura 7.



De la sistemul electric la sistemul magnetic puterea electromagnetică este transferată prin intermediul reacţiei electromagnetice.

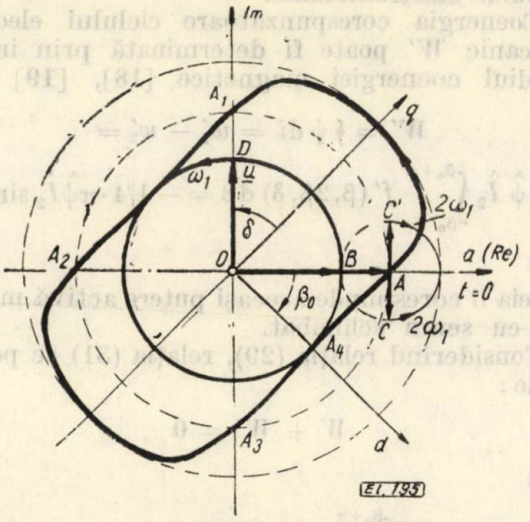


Fig. 9. Locurile geometrice descrise de sinorii $\underline{u}$, $\underline{\varphi}$, $\underline{i}$: $= \pi/2$; $= -\pi/$.

Conform lucrării [15], ciclul $\varphi = f(i)$ va fi denumit în cazul acestui tip de convertor drept „ciclul electromecanic reactiv monofazat".

Aria ciclului electromecanic reprezintă energia de interacțiune electro-magneto-mecanică W.

După cum se vede din figura 12, energia W se obține cu variația energiei magnetice w, corespunzătoare ciclului electromecanic:

$$W = \oint i \, d\psi = w_1 - w_2, \qquad (29)$$

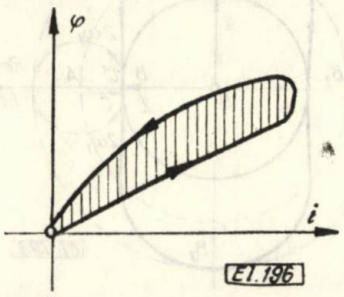


Fig. 10. Ciclul electromecanic reactiv monofazat corespunzător regimului din figura 9.

sau introducînd variabila $\beta : \omega_1 t = \beta - \beta_0$ în expresiile ψ, i:

$$W = \hat{\psi}\,\hat{I}_2 \int_{\beta_0}^{\beta_0+\pi} f(\beta, 2\beta, \delta)\, d\beta =$$

$$= 1/4 \cdot \pi\, \hat{\psi}\,\hat{I}_2 \sin 2\delta. \qquad (29')$$

Puterea activă medie, corespunzătoare energiei W, se obține:

$$W/(T/2) = 1/4 \cdot \omega_1 \hat{\psi}\,\hat{I}_2 \sin 2\delta =$$

$$= 1/2 \cdot U I_2 \sin 2\delta = P_2, \qquad (30)$$

unde $T/2$ reprezintă timpul în decursul căruia rotorul, la viteza de sincronism, se deplasează cu unghiul $\Delta\beta = \pi$ rad. el., adică perioada ciclului electromecanic.

Coenergia corespunzătoare ciclului electromecanic W' poate fi determinată prin intermediul coenergiei magnetice [18], [19] w':

$$W' = \oint \psi \, di = w_1' - w_2' =$$

$$= \hat{\psi}\,\hat{I}_2 \int_{\beta_0}^{\beta_0+\pi} f'(\beta, 2\beta, \delta)\, d\beta = -1/4 \cdot \pi \hat{\psi}\hat{I}_2 \sin 2\delta, \qquad (31)$$

căreia îi corespunde aceeași putere activă medie P_2 cu semn schimbat.

Considerînd relația (29), relația (31) se poate scrie:

$$W + W' = 0$$

sau

$$\int_{\beta_0}^{\beta_0+\pi} [w_r]_\beta' \, d\beta = 0, \qquad (32)$$

unde $[w_r]_\beta'$ reprezintă derivata în raport cu variabila β a funcției w_r:

$$w_r = \psi i, \qquad (33)$$

unde w_r reprezintă energia reactivă instantanee a sistemului.

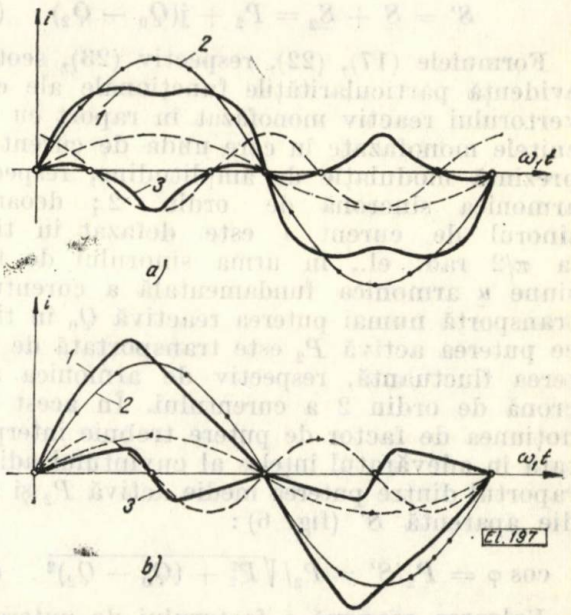


Fig. 11. Unda curentului rezultant (1) a armonicii fundamentale (2) și a armonicii de ordin doi (modulată și amplitudine) (3) corespunzătoare:
a – figurii 7; *b* – figurii 9.

Din relația (32) rezultă:

$$\int_{\beta_0}^{\beta_0+\pi} w_r \, d\beta = \text{const.} \qquad (34)$$

sau considerînd (33) și efectuînd integrala:

$$\int_{\beta_0}^{\beta_0+\pi} \psi\, i \, d\beta = 1/2 \cdot \pi\, \hat{\psi}\,\hat{I}_0 -$$

$$- 1/4 \cdot \pi\, \hat{\psi}\,\hat{I}_2 \cos 2\delta = W_r, \qquad (34')$$

unde W_r este energia reactivă corespunzătoare ciclului electromecanic reactiv.

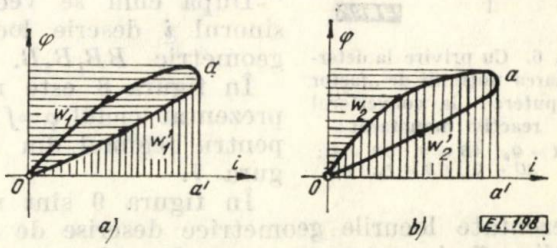


Fig. 12. Cu privire la stabilirea semnificației fizice a ariei ciclului electromecanic:
w^1, w^2, w_1, w_2 – variațiile energiei și coenergiei magnetodinamice corespunzătoare creșterii curentului de la valoarea zero la valoarea maximă (a) și descreșterii acestuia la valoarea zero (b).

Dacă energia W_r se raportează la perioada ciclului electromecanic $T/2$, se obţine puterea reactivă medie:

$$Q' = W_r/(T/2) = UI_0 - 1/2 \cdot UI_2 \cos 2\delta = \\ = Q_0 - Q_2, \qquad (35)$$

ceea ce coincide cu rezultatele anterioare.

Formulele (29) — (35) sînt importante din punctul de vedere al procesului de conversiune: ele arată în mod clar rolul şi participarea energiei reactive în acest proces.

Puterea activă P_2 trebuie identificată în sistemul mecanic.

În acest scop se va utiliza expresia cuplului electromagnetic [18], [19]:

$$\tau = i\, \partial\, \psi/\partial\, \beta - \partial w/\partial \beta, \qquad (36)$$

unde w este energia magnetică asociată fluxului ψ:

$$w = \int_{\psi_0}^{\psi_0+\psi} i\, [\mathrm{d}\, \psi]_{\beta\, =\, \mathrm{const.}} = 1/2 \cdot \psi\, i = \\ = 1/2 \cdot l(\beta) i^2 \qquad (37)$$

astfel încît (36) devine:

$$\tau = 1/2 \cdot i^2\, \partial\, 1\, (\beta)/\partial\, \beta = \partial w/\partial \beta. \qquad (38)$$

Cuplul electromagnetic τ constituie interacţiunea dintre sistemele magnetic şi mecanic ale oricărui convertor electromecanic. Aceasta acţionează asupra rotorului.

Cuplul de reacţie τ' exprimă reacţia sistemului mecanic asupra celui magnetic şi se defineşte prin intermediul variaţiei dinamice a coenergiei magnetice w':

$$\tau' = \partial w'/\partial \beta \qquad (39)$$

unde coenergia magnetică asociată curentului i are expresia:

$$w' = \int_{i_0}^{i_0+i} \psi [\mathrm{d}i]_{\beta = \mathrm{const.}} = 1/2 \cdot \psi\, i = 1/2 \cdot l\, (\beta) i^2. \qquad (40)$$

Cuplul τ', în virtutea principiului acţiunii şi reacţiunii, acţionează asupra statorului.

Dacă se consideră relaţiile (33), (37), (40) poate fi scrisă relaţia între energia magnetică w, coenergia magnetică w' şi energia magnetică reactivă w_r a sistemului (liniar):

$$w + w' = w_r. \qquad (41)$$

Este uşor de observat că energia transmisă sistemului mecanic pe intervalul de timp, corespunzător ciclului electromecanic M este:

$$M = \int_{\beta_0}^{\beta_0+\pi} \tau\, \mathrm{d}\, \beta = W, \qquad (42)$$

cu ajutorul căreia poate fi determinată valoarea medie a cuplului electromagnetic C:

$$C = 1/\pi \cdot W = 1/4 \cdot \hat{\psi} \hat{I}_2 \sin 2\, \delta, \qquad (43)$$

respectiv puterea mecanică (medie) la arbore:

$$P_2 = \omega_1\, C = 1/2 \cdot UI_2 \sin 2\, \delta. \qquad (44)$$

În acelaşi mod se determină valoarea medie a cuplului τ' (C'):

$$C' = 1/\pi \cdot W' = -\, C. \qquad (45)$$

Puterea activă P_2 a fost, astfel, identificată în cele trei sisteme ale convertorului, fiind pus în evidenţă rolul energiei magnetice, al coenergiei magnetice, energiei magnetice reactive, al ciclului electromecanic în procesul de conversiune energetică.

3. Convertorul reactiv trifazat

În figura 13 este reprezentată schema convertorului reactiv trifazat de referinţă.

Ecuaţia de tensiuni în acest caz în formă matricială este

$$[u] = D\, [\psi] + [R]\, [i], \qquad (46)$$

unde:

$[u]$, $[\psi]$, $[i]$ sînt matricile-coloane ale tensiunilor instantanee la borne, fluxurilor rezultante, curenţilor în cele trei faze;

$[R]$ matricea diagonală a rezistenţelor.

Dacă se neglijează rezistenţele ($R = 0$) şi se introduc sinorii reprezentativi ai sistemelor de tensiuni $\underline{u}$, fluxuri $\underline{\psi}$ şi curenţi $\underline{i}$, avînd în vedere relaţiile de definiţie ale acestora:

$$\underline{u} = 2/3 \cdot \sum_n \alpha_n u_n;\ \underline{\psi} = 2/3 \cdot \sum_n \alpha_n\, \psi_n;\ \underline{i} = \\ = 2/3 \cdot \sum_n \alpha_n i_n, \qquad (47)$$

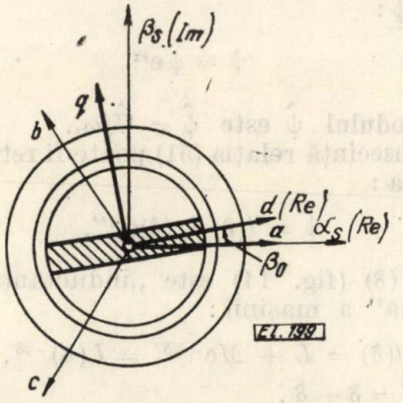


Fig. 13. Schema principială a convertorului reactiv trifazat: a, b, c — axele geometrice ale înfăşurărilor statorului; d, q — axele longitudinală şi transversală.

unde α_n sînt operatorii trifazaţi de deplasare ($n = a, b, c$):

$$\alpha_n = e^{j\rho_n};\ \rho_a = 0;\ \rho_b = \rho;\ \rho_c = 2\rho;\ \rho = 2\pi/3 \text{ rad. el.}$$

atunci ecuaţia (46) devine:

$$\underline{u} = D\,\underline{\psi}. \tag{48}$$

$$[1(\beta)] = \begin{array}{c|c|c|c} & a & b & c \\ \hline a & L_0 + L_2\cos 2\beta & -M_0 + M_2\cos(2\beta - \rho) & -M_0 + M_2\cos(2\beta + \rho) \\ \hline b & -M_0 + M_2\cos(2\beta - \rho) & L_0 + L_2\cos(2\beta + \rho) & -M_0 + M_2\cos 2\beta \\ \hline c & -M_0 + M_2\cos(2\beta + \rho) & -M_0 + M_2\cos 2\beta & L_0 + L_2\cos(2\beta - \rho) \end{array} \tag{50}$$

Fluxurile rezultante în cele trei faze pot fi exprimate în funcţie de inductivităţile proprii şi mutuale şi valorile instantanee ale curenţiilor:

$$[\psi] = [1(\beta)]\,[i]. \tag{49}$$

unde $[1(\beta)]$ este matricea-inductanţă [16]:

Dacă se consideră relaţiile (47), (49), (50) expresia sinorului $\underline{\psi}$ în funcţie de inductanţele ciclice proprie şi mutuală şi de sinorul $\underline{i}$, are forma:

$$\underline{\psi} = L\underline{i} + M\underline{i}^* e^{j2\beta}, \tag{51}$$

unde L, M sînt inductanţele ciclice: $L = 3/2 \cdot L_0$, $M = 3/2 \cdot L_2$.

Dacă sistemul de tensiuni trifazat este simetric:

$$u_n = \hat{U}\cos(\alpha' - \rho_n),$$

atunci expresia sinorului $\underline{u}$ (47) devine:

$$\underline{u} = \underline{u}_a = \hat{U}\,e^{j\alpha'}. \tag{52}$$

Pentru regimul electromecanic permanent în ecuaţia (48) operatorul D trebuie înlocuit cu operatorul complex $j\omega_1$ ($D = j\omega_1$), ceea ce înseamnă că din această ecuaţie poate fi definit sinorul $\underline{\psi}$:

$$\underline{\psi} = \hat{\psi}\,e^{j\alpha} \tag{53}$$

unde modulul $\hat{\psi}$ este $\hat{\psi} = \hat{U}/\omega_1$.

În consecinţă relaţia (51) poate fi retranscrisă în forma:

$$\underline{\psi} = \underline{l}(\delta)\,\underline{i}\ (\delta)e^{j\alpha''}, \tag{54}$$

unde $\underline{l}\ (\delta)$ (fig. 14) este „inductanţa ciclică complexă" a maşinii:

$$l(\delta) = L + Me^{-j2\delta''} = l\,(\delta)^{-j\delta'}. \tag{55}$$

unde $\delta'' = \delta + \delta'$.

Comparînd (54) cu (53), poate fi dedusă expresia $i(\delta)$:

$$\underline{i}(\delta) = i(\delta)\,e^{j\delta'} \tag{56}$$

unde $i(\delta) = \hat{\psi}/l(\delta)$.

Dacă se ia în consideraţie prima formă a relaţiei (55) pentru fazorul $\underline{i}$ (δ), mai poate fi scrisă relaţia:

$$\underline{i}(\delta) = \hat{I}_0 - \hat{I}_2\,e^{-j2\delta}, \tag{56'}$$

respectiv, pentru sinorul i:

$$\underline{i} = \underline{i}(\delta)\,e^{j\alpha''} = \underline{i}_0 - \underline{i}_2 e^{-j2\delta} \tag{57}$$

În figura 15 sînt reprezentaţi sinorii reprezentativi $\underline{u}$, $\underline{\varphi}$, $\underline{i}$.

Existenţa inductanţei complexe $\underline{l}(\delta)$ în maşina trifazată implică un nou mecanism de conversiune a energiei. Astfel după cum rezultă

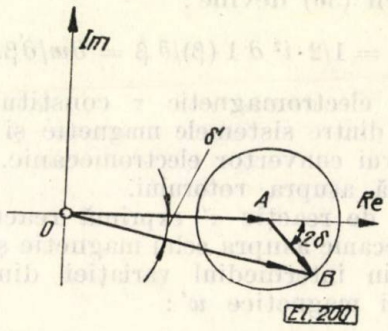


Fig. 14. Reprezentarea grafică a inductanţei ciclice complexe $l\ (\delta)$:

$L = OA; Me^{-j2\delta} = AB; l(\delta) = OB.$

din figura 15 sinorul $\underline{i}$ este defazat cu unghiul δ' înainte, faţă de sinorul $\underline{\varphi}$; această defazare explică existenţa „ciclului electromecanic reactiv trifazat" reprezentat în figura 16.

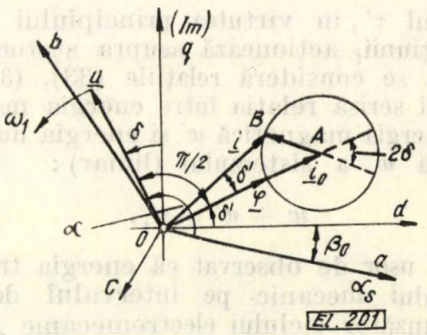


Fig. 15. Reprezentarea grafică a sinorilor reprezentativi $\underline{u}$, $\underline{\varphi}$, $\underline{i}$:

$\underline{i} = OB;\ \underline{i}_0 = OA;\ -\underline{i}_2 e^{-j2\delta} = AB.$

Din această cauză, spre deosebire de convertorul monofazat, sistemul trifazat de curenți este simetric iar undele curenților sînt sinusoidale ceea ce constituie particularitatea fundamentală a convertorului trifazat.

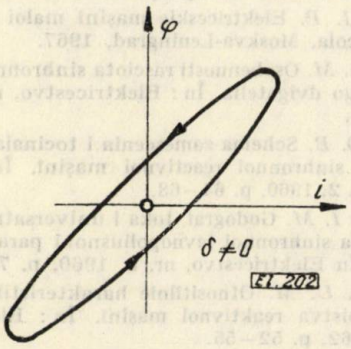


Fig. 16. Ciclul electromecanic reactiv trifazat $\varphi = f(i)$.

Avînd în vedere simetria sistemelor de tensiuni și curenți în regim electromagnetic permanent puterea complexă instantanee, schimbată prin borne de sistemul electric cu rețeaua de alimentare este dată de expresia :

$$\underline{s} = p + jq = 3/2 . \underline{u}\underline{i}^* = \underline{S}, \qquad (58)$$

sau dacă se consideră expresiile sinorilor $\underline{u}$, $\underline{i}^*$ (52), (57) :

$$\underline{s} = 3UI_0 e^{j\pi/2} - 3UI_2 e^{j(2\delta+\pi/2)} = \underline{S} = P + jQ \qquad (58')$$

unde P, Q reprezintă puterile medii activă și reactivă, care se confundă cu puterile respective instantanee :

$$P = 3UI_2 \sin 2\delta ; \qquad (59)$$

$$Q = 3UI_0 - 3UI_2 \cos 2\delta. \qquad (60)$$

Sinorii $\underline{u}$, $\underline{i}$ pot fi raportați la sistemul d, q de coordonate. Expresiile acestora devin :

$$\underline{u}_F = \underline{u} e^{-j\beta} ; \; \underline{i}_F = \underline{i}^* e^{-j\beta}, \qquad (61)$$

respectiv, pentru mărimile complex-conjugate acestora :

$$\underline{u}_B = \underline{u}^* e^{j\beta} ; \; \underline{i}_B = \underline{i}^* e^{j\beta} \qquad (61')$$

sau în funcție de componentele d, q :

$$\underline{u}_F = u_d + ju_q = \hat{U} e^{j(\delta+\pi/2)} \qquad (62)$$

$$\underline{i}_F = i_d + ji_q = i(\delta) e^{j(\delta'+\delta)} = \hat{I}_0 e^{j\delta} - \hat{I}_2 e^{-j\delta} =$$

$$= \hat{I}_d \cos \delta + j\hat{I}_q \sin \delta. \qquad (63)$$

Se poate observa fără dificultate că expresia :

$$\underline{s}' = 3/2 . \underline{u}_F \, i_B = 3/2(u_d + ju_q)(i_d - ji_q), \qquad (64)$$

este identică cu expresia (58).

În figura 17 sînt reprezentate componentele d, q ale sinorilor de tensiune și curent.

Energia transmisă sistemului magnetic în decursul deplasării unei perechi de poli ($\Delta\beta = 2\pi$) la viteza de sincronism față de înfășurarea statorului (W) este egală cu aria ciclului electromecanic (fig. 16) :

$$W = \sum_n \oint i_n \, d\Psi_n. \qquad (65)$$

Dacă se consideră expresiile i_n, ψ_n (fig. 15) :

$$\psi_n = \hat{\psi} \cos(\alpha'' - \rho_n) = \hat{\psi} \cos(\beta + \delta - \rho_n) ;$$

$$i_n = \hat{I}_0 \cos(\beta + \delta - \rho_n) - \hat{I}_2 \cos(\beta - \delta - \rho_n), \qquad (66)$$

respectiv :

$$d\psi_n = - \hat{\psi} \sin(\beta + \delta - \rho_n) d\beta,$$

după efectuarea operațiilor matematice, integrala (65) devine :

$$W = \int_{\beta_0}^{\beta_0+\pi} f(\beta, \delta, \rho_n) \, d\beta = 3/2 . \hat{\psi}\hat{I}_2 2\pi \sin 2\delta. \qquad (67)$$

Puterea (activă) corespunzătoare energiei W, se obține :

$$P = W/T = 3 \, UI_2 \sin 2\delta = P_2, \qquad (68)$$

care este identică cu (59).

Coenergia corespunzătoare ciclului electromecanic (W') :

$$W' = \sum_n \oint \psi_n \, di_n = \int_{\beta_0}^{\beta_0+2\pi} f'(\beta, \delta, \rho_n) \, d\beta = -3/2 \cdot$$

$$\cdot \hat{\psi}\hat{I}_2 \, 2\pi \sin 2\delta. \qquad (69)$$

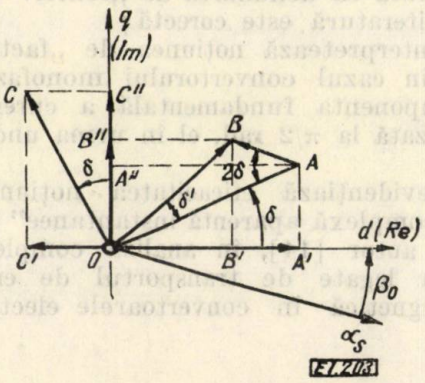


Fig. 17. Descompunere a sinorilor $\underline{u}$, $\underline{i}$ după axele d, q.

Procedînd ca și în cazul anterior, energia reactivă (W_r) corespunzătoare ciclului electromecanic, se obține :

$$W_r = \int_{\beta_0}^{\beta_0+2\pi} w_r \, d\beta = 3/2 . \hat{\psi}\hat{I}_0 2\pi - 3/2 \cdot \hat{\psi}\hat{I}_2 2\pi \cos 2\delta, \qquad (70)$$

căreia îi corespunde puterea reactivă (Q):

$$Q = W_r/T = 3UI_0 - 3UI \cos 2\delta, \quad (71)$$

care este identică cu (60).

Funcţia w_r are expresia:

$$w_r = \sum_n \psi_n i_n. \quad (72)$$

Energia transmisă sistemului mecanic pe intervalul ciclului electromecanic (M) este egală cu (W).

Cu ajutorul mărimii W poate fi determinată, ca şi în cazul precedent, expresia cuplului mediu electromagnetic şi a puterii mecanice dezvoltată la arbore.

4. Concluzii

Din cele de mai sus rezultă:

— mecanismul de conversiune a energiei în convertorul reactiv monofazat este principial diferit de cel din convertorul trifazat;

— în convertorul monofazat puterea activă este vehiculată de puterea fluctuantă, respectiv de armonica temporală de ordin doi care apare în unda curentului în afara fundamentalei; datorită acestei armonice unda curentului absorbit din reţea este deformată;

— la convertorul trifazat se pune în evidenţă „inductanţa ciclică complexă" datorită căreia sinorul reprezentativ de curent i este defazat în raport cu cel al fluxului magnetic φ;

— se introduc noţiunile de „ciclu electromecanic reactiv monofazat" şi „ciclu electromecanic reactiv trifazat" stabilindu-se legătura dintre energia W, coenergia W', energia reactivă W_r şi energia mecanică M corespunzătoare ciclului;

— se arată că denumirea de „reactiv" utilizată în literatură este corectă;

— se interpretează noţiunea de „factor de putere" în cazul convertorului monofazat la care componenta fundamentală a curentului este defazată la $\pi/2$ rad. el în urma undei de tensiune;

— se evidenţiază eficacitatea noţiunii de „putere complexă aparentă instantanee" introdusă de autor [14], în analiza complexă a proceselor legate de transportul de energie electromagnetică în convertoarele electromecanice.

Bibliografie

[1] *Cecet, I. S.*, Elektriceskie mikromaşini dlia avtomaticeskih ustroistv. Moskva-Leningrad, Izd. Energhia, 1964.

[2] *Filzgerald, A. E.* şi *Kingsley, Ch. Jr.* Electric machinery. Second edition, New York, Toronto, London. McGraw-Hill Book Company, Inc., 1961.

[3] *Ermolin, I. P.* Elektriceskie maşini maloi moşcinosti. Visşaia Şcola, Moskva-Leningrad, 1967.

[4] *Langen, A. M.* Osobennosti rasciota sinhronnogo regima reaktivnogo dvigatelia. În: Elektricestvo, nr. 9, 1964, p. 60—65.

[5] *Pevzner, O. B.* Schema zamescenia i tocinaia krugovaia diagrama sinhronnoi reactivnoi maşini. În: Elektricestvo, nr. 2, 1960, p. 64—68.

[6] *Postnikov, I. M.* Godograf toka i universatnaia shema zamescenia sinhronnoi iavnopoliusnoi i parametriceskoi maşini.: În Elektricestvo, nr. 8, 1960, p. 79—81.

[7] *Kuzevalov, U. M.* Otnositilnie harakteristiki i sravnitelnie svoistva reaktivnoi maşini. În: Elektricestvo, nr. 10, 1962, p. 52—55.

[8] *Slemon, R. G.* Equivalent circuits for reluctance S-Machines. În: PAS, 1962, p. 219—225.

[9] *Lawrenson, P. J.* şi *Agu, L. A.* A new unexcited synchronous machine. În: Proc. IEE **110**, nr. 7, 1963, p. 1 275.

[10] *Lawrenson, P. J.* şi *Gupta, S. K.* Developments in the performance theory of segmental rotor reluctance motor. În: Proc. IEE **114**, nr. 5, 1967, p. 645—653.

[11] *Lawrenson. P. J.* şi *Agu, L. A.* Theory and performance of polyphase reluctance machines. În: Proc. IEE, **111**, nr. 8, 1964, p. 1 435—1 445 şi 111, nr. 12, 1964, p. 2 017—2 025.

[12] *Parameswaren Pillai.* Torque calculations of polyphase reluctance machines. În: PAS, **86**, nr. 12, 1967, p. 1571 — 1 579.

[13] *Schroeder, J. W.* Beitrag zur Vergleich zwischen Reluctanz und Merillmotor. În: ETZ—A, **89**, nr. 10, 1968. p. 230—233.

[14] *Nedelcu, V. N.* Die einheinliche Leistungstheorie der unsymmetrischen und mehrwellingen Mehrphasensysteme. În: ETZ—A, nr. 5, 1963, p. 153—157.

[15] *Nedelcu, V. N.* O nouă teoremă generală a conversiunii electromecanice. În: Electrotehnica **16**, nr. 12, 1968, p 454—461.

[16] *Nedelcu, V. N.* Regimuri de funcţionare ale maşinilor electrice de curent alternativ. Bucureşti, Editura tehnică, 1968.

[17] *Nedelcu, V. N.* Neue Betrachtungen für Frage der Blindleistung. În: ETZ-A, **89**, nr. 16, 1968, p. 385—388.

[18] *White, C. D.* şi *Woodson, H. H.* Electromechanical energy conversion. New York, John Wiley & Sons Inc., 1959.

[19] *Seely, S.* Electromechanical energy conversion. New York, Mc Graw-Hill Book Company, 1962.

Intrat în redacţie la 17.XII.1968

Oportunitatea realizării transformatoarelor coborîtoare seria 110 kV cu tensiune de scurtcircuit mărită

Moreno Zickman* — București

CZ 621. 314.2.027.81 : 621.3.014.3

Preocuparea proiectanților de a simplifica, micșora și ieftini stațiile de transformare, păstrînd sau mărind totodată eficacitatea și siguranța în funcționare în raport cu vechile realizări, reprezintă sursa unor căutări permanente prin multiplele efecte economice asupra costului și calității energiei electrice.

În cadrul acestor preocupări — în special la proiectarea părții interioare de medie și joasă tensiune a stațiilor noi de transformare coborîtoare — se ridică mereu în ultimii ani problema renunțării la bobinele de reactanță care, în ultimele decenii, se montau atunci cînd era necesar. S-a constatat că aceste elemente serie din circuitele primare de 6—10 kV care reduc, în aval, puterile de scrutcircuit, deși sigure în exploatare, măresc prețurile și volumele de construcție ale stațiilor.

Din motivele arătate s-a emis ideea renunțării la bobinele de reactanță și a măririi corespunzătoare a reactanței transformatoarelor din stație în așa fel încît reactanța echivalentă să rămînă la valoarea necesară respectării, în aval, a unui anumit nivel de scurtcircuit [1].

Astfel s-a ajuns la utilizarea în anumite cazuri a transformatoarelor principale din stațiile coborîtoare cu tensiune de scurtcircuit mărită față de valorile economice uzuale de pînă acum [6].

Obiectul acestei lucrări este determinarea domeniului puterilor nominale ale transformatoarelor cu două înfășurări (seria 110 kV), în care este oportun să se utilizeze, pentru stațiile coborîtoare de 110 kV, transformatoare cu tensiunea de scurtcircuit mărită.

1. Metodologia cercetării

S-au ales mai multe scheme de principiu ale unor stații coborîtoare de 110 kV, dintre cele mai caracteristice utilizate la proiectarea unor asemenea obiective energetice. S-a considerat că fiecare dintre scheme poate fi realizată cu transformatoare avînd diverse puteri nominale.

Considerînd nivelele de scurtcircuit uzuale la barele de diverse tensiuni ale stațiilor — s-au făcut cercetări în vederea alegerii unor nivele de scurtcircuit optime pe barele acestora pentru cazurile funcționării cu un transformator sau cu două transformatoare în paralel pe aceeași secție de bare.

S-a considerat, de asemenea, că fiecare dintre stațiile examinate sînt echipate cu transformatoare coborîtoare, seria 110 kV, cu tensiuni de scurtcircuit crescătoare plecînd de la valorile uzuale de realizare ale acestora în prezent.

Pentru diversele variante alese s-au examinat:

— numărul și felul celulelor (la toate tensiunile) din fiecare stație, funcție de puterea instalată în transformatoare;

— necesitatea montării bobinelor de reactanță pe plecări pentru respectarea anumitor nivele de scurtcircuit pe fiecare dintre barele de distribuție ale stației;

— secțiunea minimă la stabilitate termică a cablurilor alimentate de la barele de distribuție ale stației;

— investițiile, cheltuielile de exploatare și apoi cheltuielile Z de calcul pentru toate variantele.

O dată cercetate și calculate toate variantele, s-au executat, pe grupe, comparații din punct de vedere economic ale schemelor de stații, considerînd în fiecare dintre grupe transformatoare de o anumită putere nominală cu care se echipează fiecare dintre schemele examinate. S-au comparat astfel separat cinci grupe de scheme, în fiecare dintre ele transformatoarele din seria 110 kV fiind respectiv de 10, 16, 25, 40 și 60 MVA.

Pentru fiecare dintre grupele examinate s-a reprezentat grafic variația cheltuielilor de calcul Z și apoi s-a interpretat modul de variație și minimele acestora.

2. Schemele stațiilor

2.1. *Prezentarea schemelor*

Varianta A, cu două tensiuni pentru barele de distribuție, din care una alimentată direct de la barele de 110 kV printr-o primă transformare, iar cea de a doua alimentată de la aceasta din urmă printr-o a doua transformare. Stația este așadar echipată cu patru transformatoare.

În schema A_1 (fig. 1) stația este realizată cu două transformatoare 110/20 kV și cu două transformatoare 20/6(10) kV, iar în schema A_2 (fig. 2) stația este realizată cu două transformatoare 110/6(10) kV și cu alte două de raport 6(10)/20 kV.

Varianta B. În această variantă barele colectoare *BJT* și *BMT* sînt alimentate prin cîte un transformator direct de la barele de 110 kV (fig. 3). Pentru alimentarea de siguranță s-a prevăzut în această schemă și un transformator

* *M. Zickman* este inginer proiectant șef la Sectorul Sisteme Energetice al Institutului de Studii și Proiectări Energetice din București și doctorand la Institutul Politehnic București.

între barele *BJT* şi *BMT* funcţionînd în toate regimurile cu înfăşurarea secundară racordată la o secţie separată de bare.

Varianta C. În această variantă barele colectoare *BJT* sînt alimentate prin două transformatoare de la barele de 110 kV, iar barele *BMT* sînt alimentate în mod asemănător dar cu un singur transformator (fig. 4). Rezerva de alimentare a barelor *BMT* se realizează prin luarea în considerare a unei interconexiuni cu o altă staţie din apropiere.

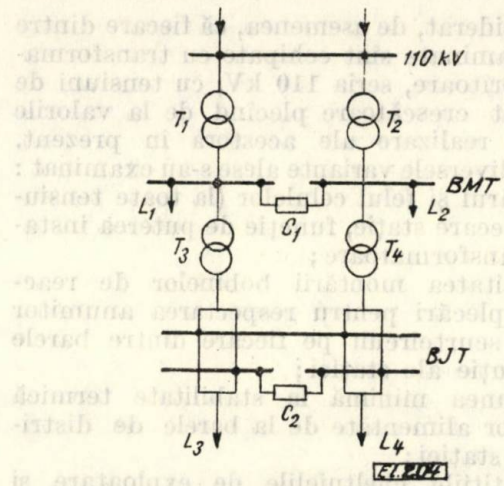


Fig. 1. *Varianta* A_1. Schema electrică a staţiei echipată cu transformatoare 110/20 şi 20/6 kV:

BMT – bare colectoare de medie tensiune; *BJT* – bare colectoare de joasă tensiune; C_1, C_2 – întreruptor normal deschis.

Puterea instalată în transformatoare MVA		Celulele cu care se echipează staţiile							
		staţia 110 KV		staţia *MT*			staţia *JT*		
T_1; T_2	T_3; T_4	linii	trafo	linii	trafo	cuple longitudinale	linii	trafo	cuple longitudinale
2×10	2×6	2	2	2	4	1	10	2	1
2×16	2×10	2	2	3	4	1	13	2	1
2×25	2×16	2	2	4	4	1	17	2	1
2×40	2×25	2	2	7	4	1	20	2	1
2×60	2×40	2	2	12	4	1	24	2	1

2.2. *Elemente variabile la schemele examinate*

Pentru schemele de staţii coborîtoare de 110 kV, arătate mai sus, s-au luat în considerare mai multe elemente variabile precum: schema de conexiuni, numărul transformatoarelor coborîtoare, puterea şi raportul nominal al transformatoarelor principale etc.

Toate variaţiile elementelor arătate s-au considerat în raport cu parametrul u_{sc} (tensiunea de scurtcircuit a transformatorului coborîtor), variind în domeniul 11—20%.

a) *Schema de conexiuni.* S-au luat în considerare diverse scheme de conexiuni ale unor staţii coborîtoare considerînd că acestea sînt prevăzute cu bare colectoare de 110 kV (la care se racordează sistemul energetic) precum şi cu bare colectoare diferite de distribuţie, una de medie tensiune *BMT* şi cealaltă de joasă tensiune *BJT*.

Pentru barele de medie tensiune s-a ales tensiunea standardizată de 20 kV, la care se realizează de obicei noile reţele de medie tensiune, iar pentru barele de joasă tensiune s-au ales tensiunile de 6 şi 10 kV, utilizate curent pentru alimentarea marilor consumatori, respectiv pentru alimentarea reţelelor urbane dezvoltate.

b) *Numărul transformatoarelor.* Toate schemele de staţii s-au întocmit considerînd alimentarea fiecărei bare prin minimum două elemente în paralel: fie două transformatoare, fie un transformator şi o legătură la o altă reţea exterioară (interconectată).

Numărul de bare colectoare s-au considerat după cum urmează: la tensiunea de 110 kV şi la medie tensiune bare simple colectoare, secţionate; la joasă tensiune bare duble colectoare (dintre care una secţionată în lung).

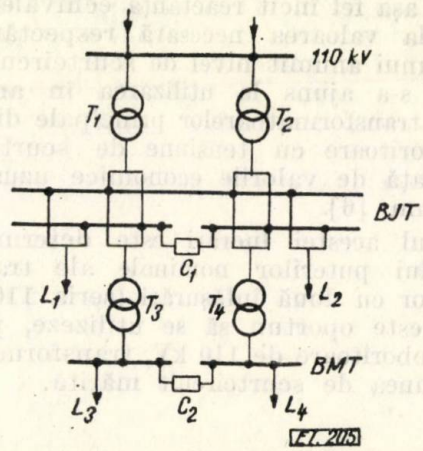


Fig. 2. *Varianta* A_2. Schema electrică a staţiei echipată cu transformatoare 110/6 şi 20/6 kV:

BMT – bare colectoare de medie tensiune; *BJT* – bare colectoare de joasă tensiune; C_1 C_2 – întreruptor normal deschis.

Puterea instalată în transformatoare MVA		Celulele cu care se echipează staţiile							
		staţia 110 KV		staţia *MT*			staţia *JT*		
T_1; T_2	T_3; T_4	linii	trafo	linii	trafo	cuple longitudinale	linii	trafo	cuple longitudinale
2×10	2×6	2	2	2	4	1	6	2	1
2×16	2×10	2	2	3	4	1	7	2	1
2×25	2×16	2	2	4	4	1	10	2	1
2×40	2×25	2	2	7	4	1	12	2	1
2×60	2×40	2	2	12	4	1	14	2	1

c) *Puterea nominală a transformatoarelor.* S-a utilizat gama uzuală a puterilor nominale ale transformatoarelor cu care se echipează staţiile coborîtoare de 110 kV şi anume 10, 16, 25, 40 şi 60 MVA.

d) *Raportul nominal de transformare.* S-au luat în considerare următoarele rapoarte de transformatoare, uzuale în reţelele actuale, cu tensiuni standardizate, din România:

— pentru alimentarea barelor de medie tensiune, 110/20 kV sau 6(10)/20 kV;

— pentru alimentarea barelor de joasă tensiune, 110/6(10) kV sau 20/6(10) kV.

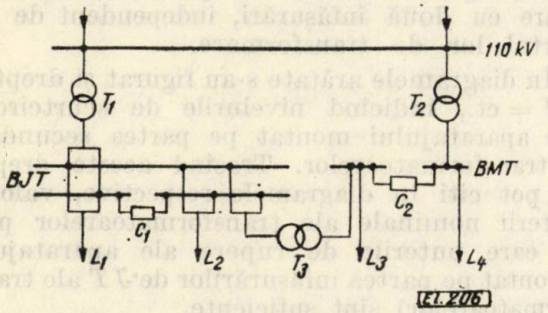


Fig. 3. *Varianta B.* Schema electrică a staţiei echipată cu transformatoare 110/6, 110/20 şi 20/6 kV:

BMT – bare colectoare de medie tensiune; *BJT* – bare colectoare de joasă tensiune; C_1, C_2, – întreruptor normal deschis.

Puterea instalată în transformatoare MVA			Celulele cu care se echipează staţiile							
			staţia 110 KV		staţia *MT*			staţia *JT*		
T_1	T_2	T_3	linii	trafo	linii	trafo	cuple longitudinale	linii	trafo	cuple longitudinale
10	10	6	2	2	2	2	1	10 (6)	2	1
16	16	10	2	2	3	2	1	13 (7)	2	1
25	25	16	2	2	4	2	1	17 (10)	2	1
40	40	25	2	2	7	2	1	20 (12)	2	1
60	60	40	2	2	12	2	1	24 (14)	2	1

cifrele din paranteză se referă la *BJT* de 10 kV

3. Nivelele maxime de scurtcircuit pe barele staţiilor examinate

3.1. Barele de 110 kV

În vederea eliminării pentru barele de 110 kV a acestui parametru variabil şi a tratării unitare a studiului de faţă, s-a întocmit — în perspectiva anilor 1970—1975 — o analiză a nivelelor de scurtcircuit pe barele de această tensiune pentru staţiile existente şi pentru cele prevăzute să se realizeze în această perioadă în ţară [5]. Pe baza cercetării făcute

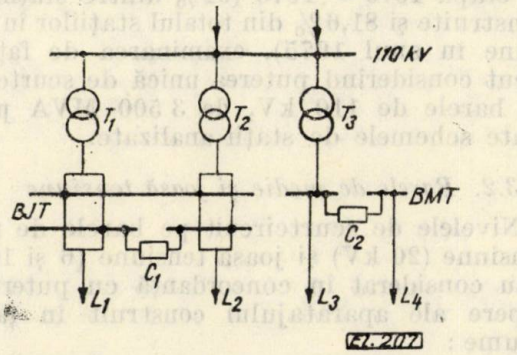


Fig.4. *Varianta C.* Schema electrică a staţiei echipată cu transformatoare 110/6 şi 110/20 kV:

BMT – bare colectoare de medie tensiune; *BJT* – bare colectoare de joasă tensiune; C_1, C_2 – întreruptor normal deschis.

Puterea instalată în transformatoare, MVA		Celulele cu care se echipează staţiile							
		staţia 110 KV		staţia *MT*			staţia *JT*		
T_1: T_2	T_3	linii	trafo	linii	trafo	cuple longitudinale	linii	trafo	cuple longitudinale
2×10	6	2	3	2	1	1	10 (6)	2	1
2×16	10	2	3	3	1	1	13 (7)	2	1
2×25	16	2	3	4	1	1	17 (10)	2	1
2×40	25	2	3	7	1	1	20 (12)	2	1
2×60	40	2	3	12	1	1	24 (14)	2	1

Cifrele din paranteză se referă la *BJT* de 10 kV

rezultă că la tensiunea de 110 kV şi în etapa 1970—1975, urmează să fie în funcţiune numărul de staţii arătate în tabela 1, clasificate după nivelele de scurtcircuit la care au fost echipate sau proiectate [1].

Tabela 1

Nivelurile de scurtcircuit ale staţiilor coborîtoare de 110 kV

Puterea de scurtcircuit la care au fost echipate sau proiectate barele de 110 kV MVA	Numărul total de staţii	
	în funcţiune la sfîrşitul anului 1975 %, din total	construite în perioada anilor 1970 – 1975 %, din total
1 900 – 3 500	81,6	64,0
3 500 – 6 000	11,8	8,5
peste 6 000	6,6	27,5
total	100,0	100,0

Ţinînd seamă de ponderea mare a staţiilor cu putere de rupere pînă la 3 500 MVA care sînt în funcţiune sau care urmează să se realizeze în etapa 1970 — 1975 (64% dintre staţiile noi construite şi 81,6% din totalul staţiilor în funcţiune în anul 1975), examinarea de faţă s-a făcut considerînd puterea unică de scurtcircuit pe barele de 110 kV, de 3 500 MVA pentru toate schemele de staţii analizate.

3.2. Barele de medie şi joasă tensiune

Nivelele de scurtcircuit pe barele de medie tensiune (20 kV) şi joasă tensiune (6 şi 10 kV) s-au considerat în concordanţă cu puterile de rupere ale aparatajului construit în ţară şi anume :

— la tensiunea de 20 kV nivelul de scurtcircuit de 500 MVA în concordanţă cu întreruptoarele tip IO—20 ;

— la tensiunea de 10 kV nivelele de scurtcircuit de 250 şi 350 MVA în concordanţă, respectiv, cu întreruptoarele IO—10 şi IUP—10 ;

— la tensiunea de 6 kV nivelele de scurtcircuit de 150, 200 şi 250 MVA în concordanţă, respectiv, cu întreruptoarele tip IO—10, IUP—10 şi IO—15.

3.3. Influenţa puterilor nominale şi a tensiunilor de scurtcircuit ale transformatoarelor asupra nivelurilor de scurtcircuit

Dacă se notează cu P_{sc}^{II} puterea de scurtcircuit, în MVA, pe partea secundară a transformatoarelor se poate determina pentru care puteri nominale S_{tr} şi pentru ce valori u_{sc} ale tensiunii de scurtcircuit ale transformatoarelor principale de forţă se respectă nivelurile de scurtcircuit arătate. În acest scop s-au calculat şi s-au reprezentat grafic în diagramele din figura 5 familiile de curbe $P_{sc}^{II} = f(S_{tr})$ avînd pe u_{sc} ca parametru, pentru cazul funcţionării separate sau în paralel a celor două transformatoare principale.

Curbele s-au trasat pentru staţiile cu unul şi două transformatoare identice, funcţionînd în paralel şi pentru o putere de scurtcircuit de 3 500 MVA pe barele de 100 kV.

Curbele reprezentate pentru $u_{sc} = 11—20\,\%$ se înţelege că sînt valabile pentru transformatoare cu două înfăşurări, independent de raportul lor de transformare.

În diagramele arătate s-au figurat şi dreptele $P_{sc}^{II} = \text{ct.}$, indicînd nivelurile de scurtcircuit ale aparatajului montat pe partea secundară a transformatoarelor. Trasînd aceste drepte, se pot citi în diagramele respective, valorile puterii nominale ale transformatoarelor pînă la care puterile de rupere ale aparatajului (montat pe partea înfăşurărilor de JT ale transformatoarelor) sînt suficiente.

Reţinînd pentru nivelurile de scurtcircuit ale barelor de 6, 10 şi 20 kV ale staţiilor examinate puterile de scurtcircuit uzale şi anume 150 MVA la 6 kV, 250 MVA la 10 kV şi 500 MVA la 20 kV s-au reprezentat în diagrama din figura 6, pentru cazul staţiilor cu unul şi două transformatoare, curbele $S_{tr} = f(u_{sc})$. Sub fiecare dintre aceste curbe se găsesc domeniile în care

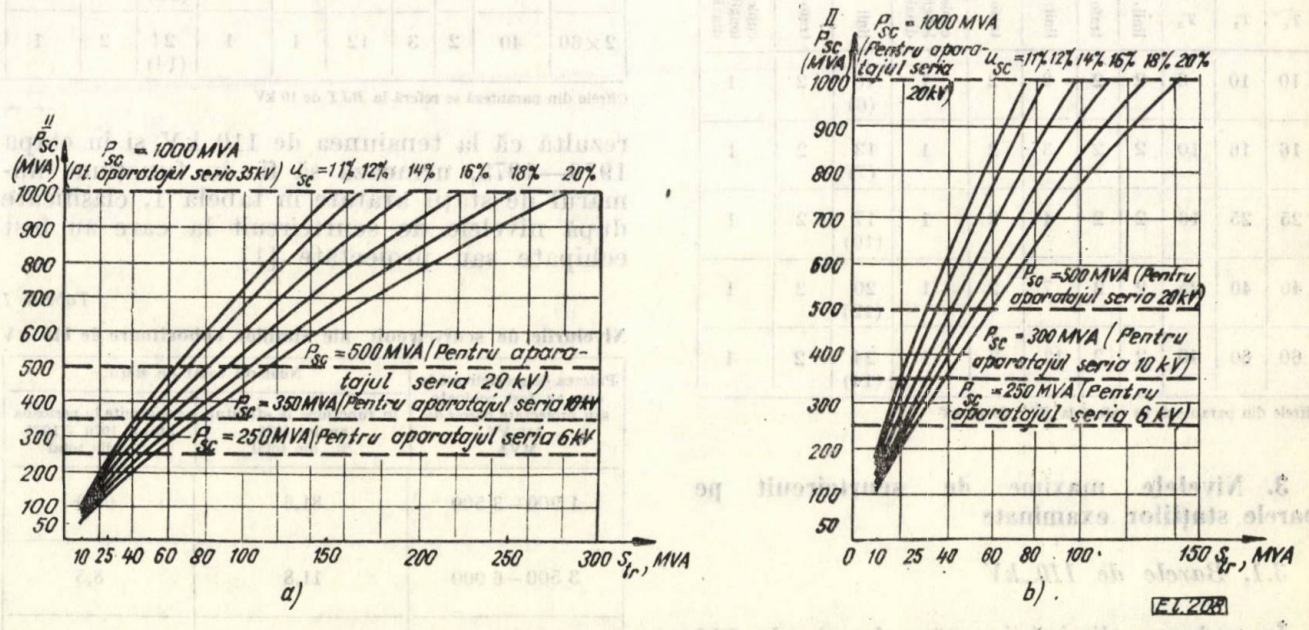


Fig. 5. Curbele parametrice ale tensiunii de scurtcircuit pe barele de joasă tensiune pentru diverse puteri nominale ale transformatoarelor coboritoare :

a — un transformator ; *b* — două transformatoare în paralel ; S_{tr} — puterea nominală a transformtorului ; P_{sc}^{II} — puterea de scurtcircuit pe partea secundară a transformatoarelor ; u_{sc} — tensiunea de scurtcircuit a transformatorului (plafon de scurtcircuit pe 110 KV : 3 500 MVA) ; ——— curbele $P_{sc}^{II} = f(Str)$; - - - limita puterii de rupere a aparatajului construit în ţară.

nivelurile de scurtcircuit arătate nu sînt depăşite pe barele de distribuţie de medie şi joasă tensiune ale staţiilor.

În tabela 2 se arată valorile minime ale tensiunii de scurtcircuit ale transformatoarelor,

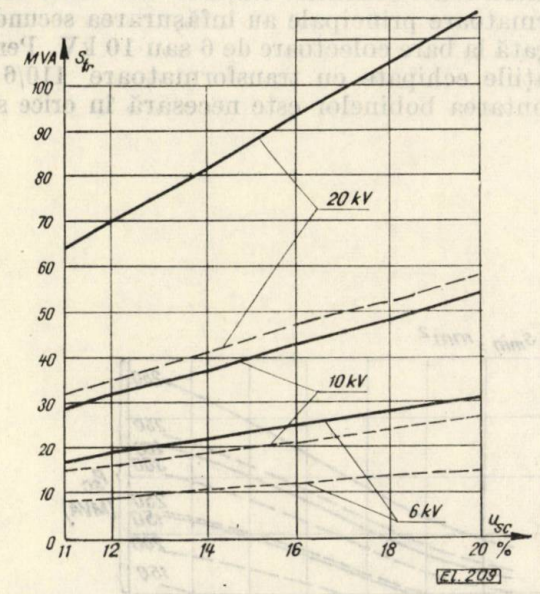


Fig. 6. Puterea limită a transformatoarelor coboritoare de 110 KV funcţie de tensiunea lor de scurtcircuit pentru respectarea unui anumit nivel de scurtcircuit pe partea lor secundară :
P_{sc} (110) = 3 500 MVA (nivelurile maxime de scurtcircuit la 6 KV — 150 MVA, la 10 KV — 250 MVA şi la 20 KV — 500 MVA) ; ———— un transformator ; – – – – două transformatoare cu înfăşurările secundare în paralel.

seria 110 kV, pentru a nu depăşi un anumit nivel de scurtcircuit pe barele racordate la înfăşurarea lor secundară.

Tabela 2

Valorile minime ale tensiunii de scurtcircuit u_{sc} ale transformatoarelor seria 110 kV pentru a nu depăşi un anumit nivel de scurtcircuit pe barele racordate la înfăşurarea lor secundară

Tensiunea nominală a înfăşurării secundare KV	Valoarea P_{sc}^{II} plafonată MVA	Puterea nominală S_{tr} a transformatorului, MVA				
		10	16	25	40	60
6	150	6,38	10,20	15,95	25,50	38,30
10	250	3,75	6,00	9,27	14,95	22,50
20	500	1,71	2,73	4,27	6,85	10,25

Transformatoarele sînt legate pe partea de 110 KV la un sistem cu putere de scurtcircuit de 3 500 MVA.

4. Stabilitatea termică a cablurilor de 6—10 kV

Secţiunile minime la stabilitate termică ale cablurilor de 6—10 kV influenţează alegerea nivelului de scurtcircuit pe barele de la care sînt alimentate. Alegerea unui nivel de scurtcircuit ridicat pe bare necesită secţiuni mari de cabluri, iar coborîrea nivelului respectiv de scurtcircuit permite utilizarea unor secţiuni termic stabile, mai mici ca în primul caz.

Stabilitatea termică a cablurilor s-a calculat în ipoteza unor staţii alimentate din sistem ($\beta'' = \frac{P_{sc}(\infty)}{P_{sc}(0)} = 1$) şi pentru următoarele ipoteze :

— timpii totali de deconectare a defectelor de 1, 2 şi 3 s ;

— puterile de scurtcircuit de 150, 200 şi 250 MVA la tensiunea de 6 kV şi de 150, 200, 250, 300 şi 350 MVA la tensiunea de 10 kV.

În diagramele din figura 7 se arată secţiunile minime la stabilitate termică a cablurilor din aluminiu şi cupru, de 6 şi 10 kV, calculate în ipotezele arătate.

În calculele economice întocmite s-au utilizat aceste diagrame şi s-a considerat că la fiecare celulă de 6 sau 10 kV se racordează un feeder în cablu, de lungime 1,0 km, şi cu secţiunea conductoarelor, termic stabilă la $t = 3{,}0$ s.

5. Comparaţia schemelor examinate

Comparaţia schemelor de staţii s-a făcut utilizînd valorile cheltuielilor de calcul $Z (Z = C + 0{,}1\,I$, unde C sînt cheltuelile anuale de exploatare şi I investiţiile totale), determinate pentru fiecare dintre scheme şi pentru toate alternativele asupra puterii nominale a transformatoarelor de 110 kV. Pentru fiecare dintre aceste puteri nominale s-a întocmit o grupă cuprinzînd toate schemele examinate, iar comparaţia s-a făcut separat pentru fiecare dintre aceste cinci grupe corespunzînd staţiilor echipate cu transformatoare principale de 10, 16, 25, 40 şi 60 MVA.

Pentru comparaţia schemelor din cadrul fiecăreia dintre cele cinci grupe s-au raportat toate schemele dintr-o grupă la varianta A_1 (echipată cu transformatoare cu $u_{sc} = 11\%$) şi s-au exprimat astfel cheltuielile de calcul raportate ale acestora, în procente.

Variaţia cheltuielilor de calcul raportate, pentru toate cele cinci grupe arătate, este prezentată în figura 8.

Analizînd fiecare dintre grupele arătate se constată următoarele :

— *grupa I de scheme echipată cu transformatoare de 10 MVA.*

În cadrul acestei grupe, aşa cum rezultă şi din tabela 2, nu este necesară montarea bobinelor de reactanţă pe plecări deoarece reactanţa transformatoarelor cu tensiune de scurtcircuit normală este suficientă pentru limitarea puterii de scurtcircuit pe toate barele la nivelurile propuse în tabela arătată. Din această cauză valorile cheltuielilor de calcul raportate Z_{rap} cresc pentru toate variantele de schemă analizate pe măsura măririi tensiunii de scurtcircuit a transformatorului (fig. 8, *a*) ;

— grupa II de scheme, echipată cu transformatoare de 16 MVA.

Pentru această grupă de scheme (fig. 8, *b*) rămîn valabile toate comentariile făcute la grupa I;

— grupa III de scheme, echipată cu transformatoare de 25 MVA.

Pentru această grupă se remarcă din tabela 2 că numai pentru staţiile echipate cu transformatoare 110/6 kV este necesară montarea bobinelor de reactanţă pe plecări, deoarece pentru staţiile ale căror transformatoare au înfăşurarea secundară la tensiunile de 10 sau 20 kV reactanţa acestora este suficientă pentru limitarea puterilor de scurtcircuit la nivelurile propuse (mai ridicate ca la 6 KV).

Acest lucru se poate observa şi în diagrama din figura 8, *c* în care curbele de variaţie a cheltuielilor raportate corespunzătoare schemelor de staţii din variantele A_2, B şi C prezintă pentru $u_{sc} = 16\%$ o scădere bruscă de la $Z_{rap} = 115—122\%$ la $Z_{rap} = 96—103\%$ pe cînd cheltuielile de calcul corespunzătoare variantei A_1 cresc în mod continuu în tot domeniul examinat. Explicaţia acestui punct de discontinuitate pe curbele de variaţie corespunzătoare variantelor A_2, B şi C constă în aceea că, pentru transformatoare avînd $u_{sc}=16\%$ nu mai este necesară montarea bobinelor de reactanţă în staţiile de 6 kV, ceea ce atrage o diminuare — printr-un salt de circa 19% — a cheltuielilor de calcul Z_{rap}. Pentru schema staţiei din varianta A_1, aşa cum s-a arătat, nu este necesară montarea bobinelor de reactanţă;

— grupa IV de scheme echipată cu transformatoare de 40 MVA.

Tot din tabela 2 se observă că montarea bobinelor de reactanţă — pentru a nu se depăşi nivelurile de scurtcircuit fixate — este necesară pentru toate schemele staţiilor ale căror transformatoare principale au înfăşurarea secundară legată la bare colectoare de 6 sau 10 kV. Pentru staţiile echipate cu transformatoare 110/6 kV montarea bobinelor este necesară în orice situaţie deoarece nu se poate lua în considerare realizarea unui asemenea transformator cu $u_{sc} = 25{,}5\%$. Din examinarea diagramei din figura 8, *d* se remarcă că pentru schemele corespunzătoare variantelor A_2, B şi C cheltuielile de calcul raportate Z_{rap} cresc continuu o dată cu valoarea lui u_{sc} a transformatorului principal.

Pentru varianta A_1 reactanţele însumate ale transformatoarelor 110/20 şi 20/6 kV nu sînt suficiente pentru a limita puterea de scurtcircuit pe barele de 6 kV la nivelul propus. Dacă transformatorul 110/6 kV se realizează cu $u_{sc} \geqslant 16\%$, atunci puterea de scurtcircuit pe barele de 6 kV se reduce şi, în această situaţie, se poate renunţa la bobinele de reactanţă pe plecări, fapt care împietează asupra cheltuielilor Z_{rap} după cum se poate observa şi din figura 8, *d*;

— grupa V de scheme, echipată cu transformatoare de 60 MVA.

Toate schemele din această grupă (a se vedea şi tabela 2) necesită montarea bobinelor de reactanţă pe plecări (inclusiv cea din varianta A_1

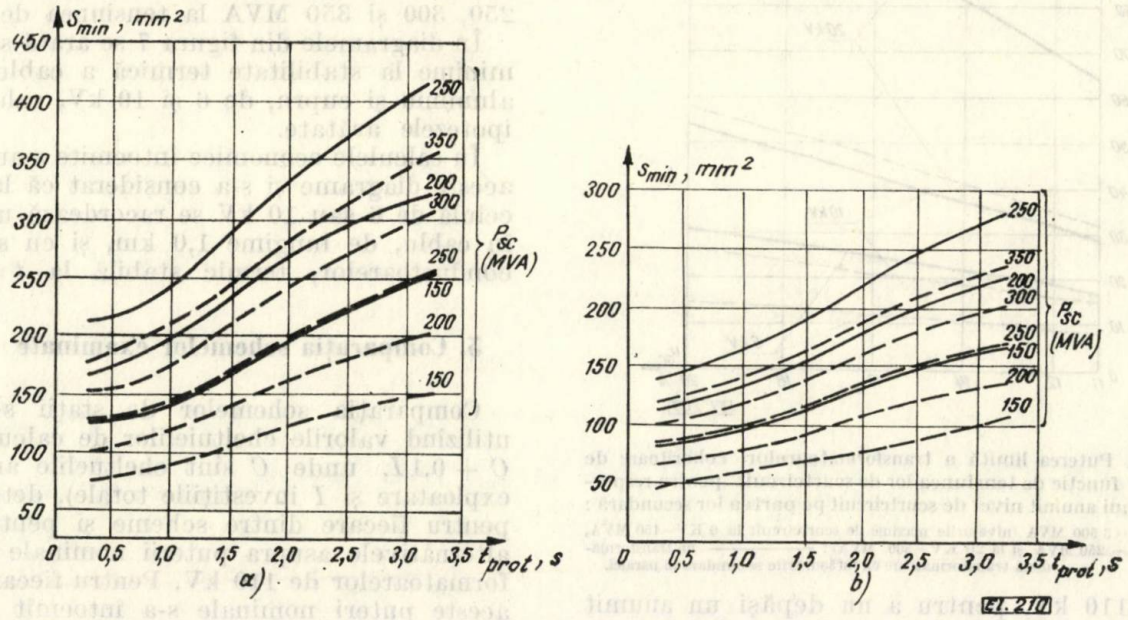


Fig. 7. Curbele secţiunii minime la stabilitate termică pentru cablurile de alimentare ale consumatorilor funcţie de timpul de deconectare a defectului:

a – cabluri de aluminiu, tip ACHPBI; *b* – cabluri de cupru, tip CHPBI; P_{sc} – puterea de scurtcircuit, MVA; ———— cabluri de 6 KV; – – – – cabluri de 10 KV

dacă se ţine seamă de cele arătate la analiza grupei IV). Din această cauză, întocmai ca şi la grupele I şi II valorile cheltuielilor de calcul Z_{rap} cresc pentru toate schemele examinate pe măsura măririi tensiunii de scurtcircuit a transformatorului (fig. 8, *e*).

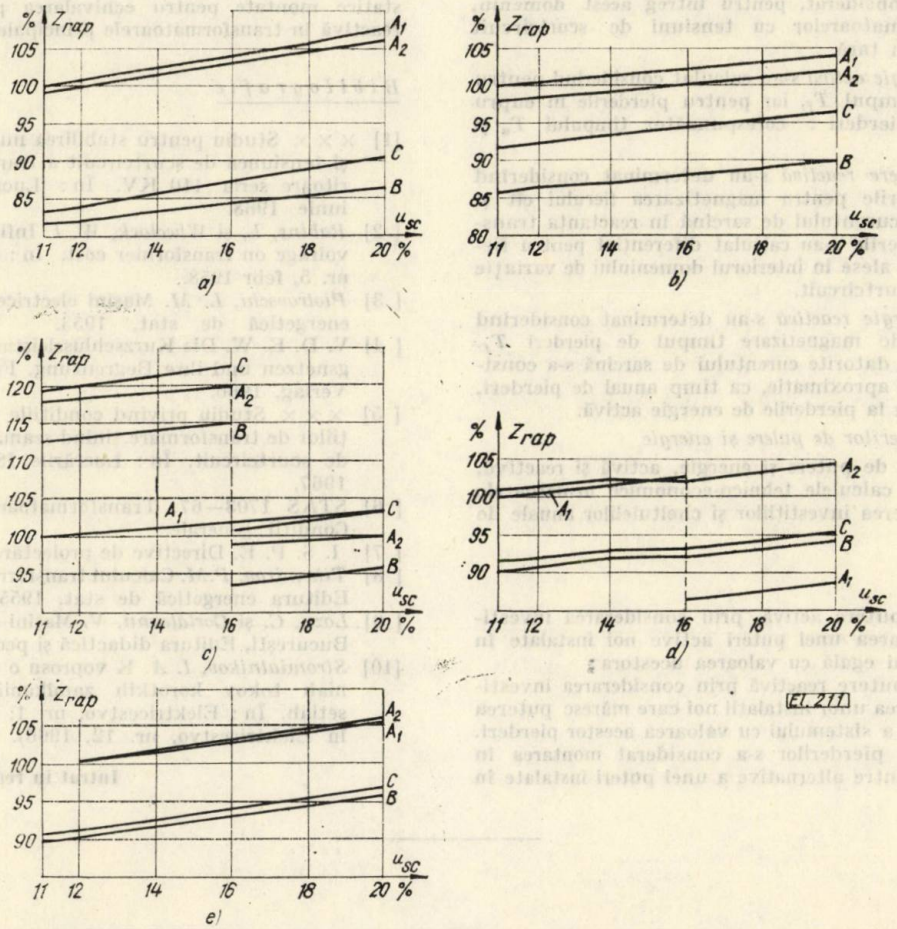


Fig. 8. Variaţia, pentru schemele staţiilor examinate, a cheltuielilor (raportate) de calcul Z_{rap} cu tensiunea de scurtcircuit u_{sc} a transformatoarelor principale coborîtoare de 110 kV din staţie avînd o putere nominală de : *a* – 10 MVA (grupa I de scheme) ; *b* – 16 MVA (grupa II) ; *c* – 25 MVA (grupa III) ; *d* – 40 MVA (grupa IV) ; *e* – 60 MVA (grupa V)

6. Concluzii

Transformatoarele seria 110 kV se pot executa şi cu tensiunea de scurtcircuit mărită în cazul în care puterea unitară a acestora este de 25 sau 40 MVA. Echiparea staţiilor de transformare coborîtoare de 110 kV cu transformatoare cu tensiunea de scurtcircuit mărită duce la efecte economice favorabile.

Pentru transformatoarele cu puterea nominală de 10 şi 16 MVA nu este justificată construirea lor altfel decît cu tensiunea de scurtcircuit normală (rezultată din calculul economic al transformatorului) deoarece reactanţa acestora este suficientă pentru limitarea puterilor de scurtcircuit la valorile uzuale pe barele de distribuţie ale staţiilor.

Echiparea staţiilor cu transformatoare de 60 MVA duce la montarea reactoarelor pe plecări indiferent de tensiunea de scurtcircuit aleasă pentru transformatoare. Rămîne de examinat, de la caz la caz, dacă în locul realizării staţiilor coborîtoare de 110 kV cu transformatoare cu puterea nominală mai mare decît 40 MVA nu este economic justificat să se realizeze mai multe staţii de 110 kV cu transformatoare nu mai mari decît 40 MVA.

Transformatoarele coborîtoare, seria 110 kV, cu tensiune de scurtcircuit mărită, este economic să fie realizate cu $u_{sc} = 16 \ldots 17\%$, valoare egală cu cea prevăzută în standardele actuale româneşti [6].

ANEXA

Consideraţii asupra calculului pierderilor de putere şi energie în transformatoarele principale de forţă

Calculele pierderilor de putere s-au întocmit în următoarele ipoteze :

– transformatoarele funcţionează în regim normal la o sarcină de 75% din puterea lor nominală [7] ;

– timpul anual de funcţionare a fiecărui transformator este $T_f = 8\,500$ ore/an ;

– timpul anual de utilizare a puterii de vîrf a consumatorilor este $T_u = 6\,100$ ore/an egal cu media timpului de utilizare a puterii instalate din centralele sistemului.

Pierderile de putere activă s-au considerat cele ale transformatoarelor corespunzătoare construite de uzinele „Electroputere" Craiova (varianta tole laminate la rece). Deoarece din examinarea făcută s-a constatat că, în domeniul $u_{sc} = 11\ldots 20\%$, pierderile active nu variază practic cu tensiunea de scurtcircuit, s-au considerat, pentru întreg acest domeniu, pierderile transformatoarelor cu tensiuni de scurtcircuit normale realizate în țară.

Pierderile de energie activă s-au calculat considerînd pentru pierderile în fier timpul T_f, iar pentru pierderile în cupru timpul anual de pierderi τ corespunzător timpului T_u și $\cos\varphi = 0{,}9$.

Pierderile de putere reactivă s-au determinat considerînd separat atît pierderile pentru magnetizarea fierului cît și pierderile datorită curentului de sarcină în reactanța transformatorului. Pierderile s-au calculat diferențiat pentru fiecare dintre valorile alese în interiorul domeniului de variație a tensiunilor de scurtcircuit.

Pierderile de energie reactivă s-au determinat considerînd pentru pierderile de magnetizare timpul de pierderi T_f. Pentru pierderile datorite curentului de sarcină s-a considerat, într-o primă aproximație, ca timp anual de pierderi, aceeași valoare τ ca la pierderile de energie activă.

Echivalarea pierderilor de putere și energie

Pentru pierderile de putere și energie, activă și reactivă, s-au considerat în calculele tehnico-economice următoarele echivalări în aprecierea investițiilor și cheltuielilor anuale de exploatare

Pentru investiții:

– pierderile de putere activă, prin considerarea investițiilor pentru realizarea unei puteri active noi instalate în centralele sistemului egală cu valoarea acestora;

– pierderile de putere reactivă prin considerarea investițiilor pentru realizarea unor instalații noi care măresc puterea reactivă disponibilă a sistemului cu valoarea acestor pierderi. Pentru echivalarea pierderilor s-a considerat montarea în sistem, în fiecare dintre alternative a unei puteri instalate în condensatoare statice egală cu valoarea pierderilor reactive ale alternativei respective.

Pentru cheltuielile anuale de exploatare:

– pierderile de energie activă prin considerarea cheltuielilor anuale de exploatare suplimentare în transformatoarele stației;

– diferența de cheltuieli de exploatare în condensatoarele statice montate pentru echivalarea pierderilor de putere reactivă în transformatoarele principale de forță.

Bibliografie

[1] ××× Studiu pentru stabilirea numărului de înfășurări și tensiunea de scurtcircuit a transformatoarelor coboritoare seria 110 KV. În: Lucrările ISPE, nr. 191, iunie 1968.

[2] *Rabins, L,* și *Wheclock, W. I.* Influence of short-circuit voltage on transformer cost. În: Electrical World **149**, nr. 5, febr 1958.

[3] *Piotrovschi, L. M.* Mașini electrice, București, Editura energetică de stat, 1953.

[4] V. D. E. W. Die Kurzschlussleistung in Mittelspannungsnetzen und ihre Begrenzung. Frankfurt a. M., VDE Verlag, 1966.

[5] ××× Studiu privind condițiile de proiectare ale stațiilor de transformare ținînd seamă de evoluția puterilor de scurtcircuit. În: Lucrările ISPE, nr. 191, martie 1967.

[6] STAS 1703–67. Transformatoare de putere în ulei. Condiții generale.

[7] I. S. P. E. Directive de proiectare, 1967.

[8] *Tihomirov, P.M.* Calculul transformatoarelor. București. Editura energetică de stat, 1955.

[9] *Lazu, C.* și *Corlățeanu, V.* Mașini electrice, vol. I și II. București, Editura didactică și pedagogică, 1962–1963.

[10] *Stromiatnikov, I. A.* K voprosu o țelesoobraznah znaceniah tokov korotkih zamîkanii v raspredelitehnih setiah. În: Elektricestvo, nr. 1, 1966, p. 16 (Discuții în Elektricestvo, nr. 12, 1966).

Intrat în redacție la 30. XII 1968

Studiul comportării contactelor de wolfram de la releele regulatoare auto în prezența substanțelor organice în medii cu umiditate ridicată*

Ecaterina Pîrligras, Silvia Minea, Constantin Antohi** — București

CZ 621.3.066.6:546.18: 621.318.512:629

Cercetarea numeroaselor defecțiuni, apărute în funcționarea instalațiilor electrice ale autovehiculelor ca urmare a depozitării lor în medii cu umiditate ridicată, a dus la concluzia că ele apar prin întreruperea circuitelor în zona contactelor de wolfram de la releele regulatoare. Fenomenul este semnalat și de o serie de articole din literatura de specialitate [1], [2], [4] și se datorește formării pe suprafața contactului a unei cruste cu proprietăți electroizolante.

Natura acestei cruste, precum și mecanismul ei de formare nu sînt încă cunoscute cu precizie. Cert este că se formează pe majoritatea metalelor nobile utilizate la contacte (paladiu, iridiu, moblibden, wolfram, argint) în perioadele în care acestea nu funcționează, dacă sînt prezente materiale organice și umiditate mare în mediul înconjurător [2].

Aspectul acestei pelicule poate varia de la un strat foarte subțire de cristale de culoare închisă pînă la un strat gros cu aspect de ceară, deseori foarte adernet.

Crusta se formează mai frecvent și într-o grosime mai mare pe wolfram și molibden. În toate cazurile, cu trecerea timpului, rezis-

* Comunicare ținută la a XIII-a sesiune de comunicări a cadrelor didactice ale Institutului Politehnic Timișoara.

** Ing. *E. Pîrligras* este șef de laborator, chim. *S. Minea* – cercetător științific, iar *C. Antohi* – cercetător principal la I. C. P. E.

tenţa de izolaţie a contactului devine practic infinită.

Există două căi prin care se poate forma această crustă pe contactele de repaus. Una din ele constă în aceea că substanţele volatile puse în libertate de unele materiale organice sînt adsorbite pe suprafaţa contactului, unde sub acţiunea catalitică a metalului se polimerizează (ex. la contactele din paladiu sau aliaje de paladiu).

Reacţia are loc fără contactul direct dintre metal şi materialul organic, fiind suficientă numai prezenţa substanţelor volatile din componenţa acestuia [2].

Ea se poate forma şi pe cale pur chimică (de ex. formarea stratului de sulfuri pe contactele de argint şi de combinaţii organice ale wolframului). În cazul wolframului, se presupune că în prezenţa unei concentraţii ridicate a vaporilor de apă din mediul înconjurător se formează în primă fază oxid de wolfram, care apoi reacţionează cu substanţele volatile puse în libertate de materialul organic; ducînd

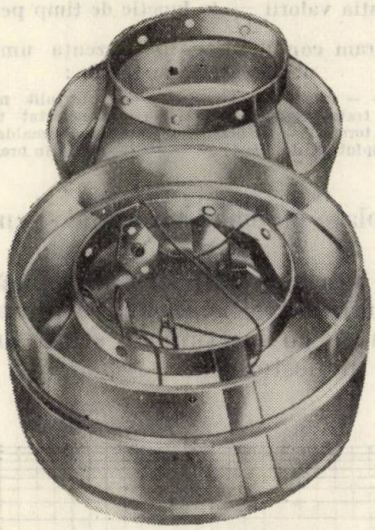


Fig. 1. Vas pentru condiţionarea contactelor de wolfram.

în final la formarea de wolframaţi organici pe suprafaţa contactului [1].

Lucrările efectuate la ICPE, pînă în prezent, s-au axat în special pe stabilirea gradului de agresivitate al diferitelor materiale organice, care se folosesc în construcţia releului regulator auto, asupra contactelor de wolfram. Metoda de lucru folosită a constat în următoarele: într-un vas de sticlă închis, cu volumul de aproximativ 1000 cm³, în interiorul căruia s-a creat o umiditate de circa 98%, s-au introdus contactele de wolfram şi o cantitate de aproximativ 20 g din materialul de încercat (fig. 1). Vasul s-a introdus apoi într-un termostat la temperatura de 60°C. S-a ales această temperatură de încercare, deoarece am presupus că procesul este accelerat de creşterea temperaturii.

Pentru evaluarea cantitativă a proceselor care au loc în condiţiile de încercare, iniţial şi periodic în timpul încercării s-a măsurat căderea de potenţial între contactele condiţionate şi un contact de referinţă, care nu a fost supus condiţionării.

Pentru măsurarea căderii de potenţial, a fost utilizată schema din figura 2, formată dintr-o sursă de curent continuu de 12 V (o

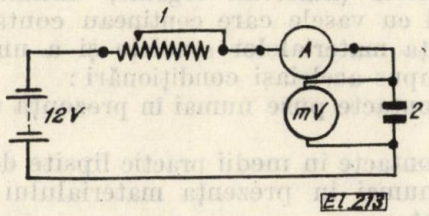


Fig. 2. Schema principială folosită la efectuarea măsurătorilor: *1* – rezistenţa variabilă, 0–12 Ω/100 W; *2* – contacte de wolfram.

baterie de acumulatoare), un reostat pentru reglarea curentului la valoarea de 2 A, un ampermetru pentru măsurarea intensităţii şi un milivoltmetru clasa 0,2. Pentru efectuarea măsurătorilor între contacte, s-a realizat o presiune de 1 kgf, cu ajutorul unor greutăţi metalice. În figura 3, se vede dispozitivul pregătit pentru încercarea contactelor.

Utilizînd metodologia arătată mai înainte s-a studiat agresivitatea faţă de contactele de wolfram a următoarelor materiale.

Materiale conductoare izolate şi izolaţii pentru bobine: conductoare izolate cu email tereftalic; conductoare izolate cu email poliamidic; conductoare izolate cu email poliuretanic; hostafan de provenienţă japoneză; ţesătură de sticlă impregnată cu poliesteri.

Materiale pentru impregnarea bobinelor: lac C 51 M.

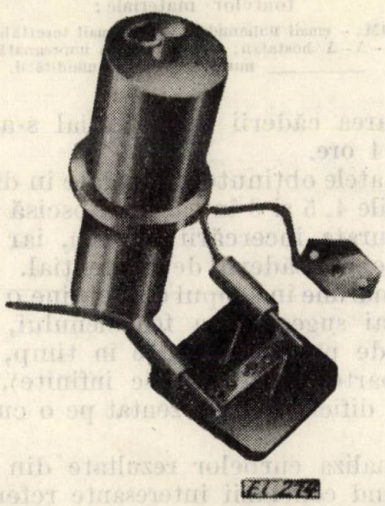


Fig. 3. Dispozitivul pregătit pentru măsurarea căderii de potenţial pe contacte.

Materiale izolante suport : pertinax ; pertinax tratat termic timp de 24 ore la 120°C ; textolit ; textolit tratat termic timp de 24 ore la 120°C ; sticlotextolit cu rășină epoxidică ; praf de presare din rășină fenolformaldehidică modificată cu rășină epoxidică și cu umplutură din fire de sticlă.

Materiale de etanșare ; cauciuc butadien α — metil stirenic ; cauciuc nitril-acrilic.

În scopul stabilirii rolului fiecăruia dintre factorii care contribuie la scoaterea din uz a contactelor (material organic, umiditate), în paralel cu vasele care conțineau contactele în prezența materialelor studiate și a umidității, s-au supus aceleiași condiționări :

— contacte puse numai în prezența umidității ;

— contacte în medii practic lipsite de umiditate, numai în prezența materialului organic încercat.

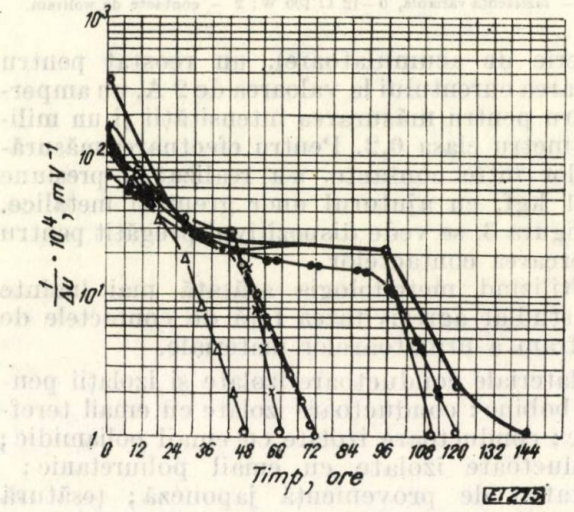


Fig. 4. Variația valorii $\frac{1}{\Delta U}$ în funcție de timp pentru contactele de wolfram condiționate în prezența umidității și a următoarelor materiale :

— x — x lac C51M ; — email poliamidic ; — o — o email tereftalic ; — — — email poliuretanic ; — Δ — Δ hostafan ; — . — . țesătură impregnată cu poliesteri ; ———— numai în prezența umidității.

Măsurarea căderii de potențial s-a făcut la fiecare 24 ore.

Rezultatele obținute sînt redate în diagramele din figurile 4, 5 și 6 în care pe abscisă s-a reprezentat durata încercării (în ore), iar pe ordonată inversul căderii de potențial. S-a ales această mărime în scopul de a obține o reprezentare mai sugestivă a fenomenului, deoarece căderea de potențial crește în timp, atingînd valori foarte mari (practic infinite), ceea ce ar fi fost dificil de reprezentat pe o curbă obișnuită.

Din analiza curbelor rezultate din încercări se desprind concluzii interesante referitoare la contribuția diferitelor feluri de materiale asupra deteriorării contactelor de wolfram, prin formarea pe suprafața lor a crustelor izolante. Astfel, dintre conductoarele emailate, influența cea mai redusă o au conductoarele izolate cu emailuri poliamidice, spre deosebire de conductoarele izolate cu email tereftalic și email poliuretanic.

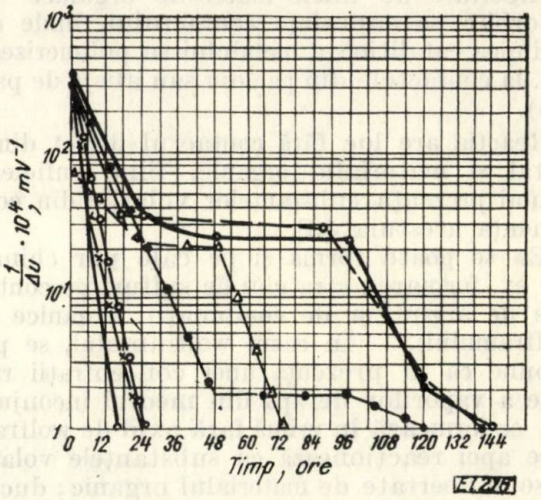


Fig. 5. Variația valorii $\frac{1}{\Delta U}$ în funcție de timp pentru contactele de wolfram condiționate în prezența umidității și a următoarelor materiale :

— — — — — — — sticlotextolit ; ———— textolit netratat termic ; — o — o textolit tratat termic ; — x — x pertinax netratat termic ; — Δ — Δ pertinax tratat termic ; — . — . praf de presare fenolformaldehidic cu rășină epoxidică și umplutură de sticlă ; ———— numai în prezența umidității

În privința materialelor sub formă de folii, utilizate în izolarea bobinelor, rezultate bune au fost obținute cu țesătură de sticlă impregnată cu lacuri poliesterice.

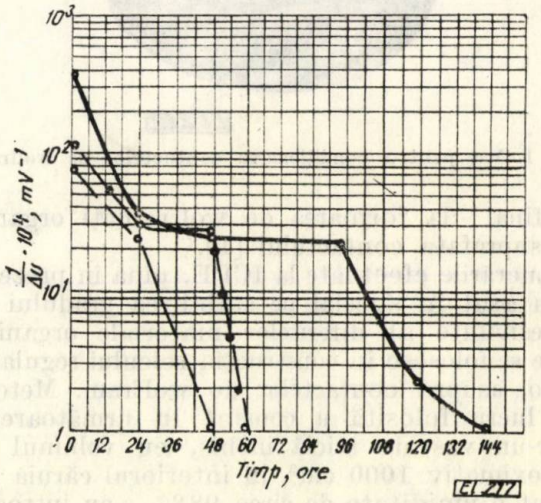


Fig. 6. Variația valorii $\frac{1}{\Delta U}$ în funcție de timp pentru contactele de wolfram condiționate în prezența umidității și a următoarelor materiale :

— . — . cauciuc nitrilacrilic ; — — — — — — cauciuc butadienstirenic ; ———— numai în prezența umidității.

Dintre materialele utilizate ca suport pentru circuitele electrice, influenţa cea mai nefavorabilă au avut-o materialele izolante în componenţa cărora intră răşini fenolice (textolit, pertinax şi piese presate din prafuri bachelitice). Materialele stratificate pe bază de ţesătură de sticlă cu răşini epoxidice, au avut o comportare bună. Dintre materialele utilizate pentru garnituri şi etanşări, o comportare mai bună — totuşi nesatisfăcătoare — a prezentat cauciucul nitrilacrilic.

Din analiza curbelor, rezultă că tratamentul termic al materialelor nu are o influenţă deosebită — în unele cazuri (textolit) — asupra reducerii degradării contactelor.

După cum se vede din diagramele trasate în figurile 4, 5 şi 6, pentru majoritatea materialelor, căderea de potenţial creşte iniţial destul de repede, apoi pe o anumită perioadă de timp se menţine aproximativ constantă, după care creşte din nou brusc, pînă cînd devine practic infinită. Alte materiale cum sînt: textolitul tratat şi netratat termic şi pertinaxul netratat termic (fig. 6), provoacă o creştere continuă şi rapidă a căderii de potenţial, după 18 ore (textolitul netratat termic) şi după 24 ore (textolitul tratat termic şi pertinaxul netratat termic), aceasta devenind practic infinită. Acest lucru se observă şi vizual prin faptul că pe contactele condiţionate în prezenţa acestor materiale, crusta electroizolantă apare în primele ore de condiţionare şi devine repede foarte abundentă (fig.7).

În diagrame nu sînt reprezentate valorile obţinute la măsurătorile cu contactele condiţionate numai în prezenţa materialelor organice, în mediu lipsit practic de umiditate, deoarece în aceste cazuri s-au obţinut variaţii foarte mici ale căderii de tensiune, practic contactele nefiind atacate. Aceste experimentări au condus la concluzia că umiditatea are un rol hotărîtor în acţiunea distructivă a materialelor organice asupra contactelor de wolfram.

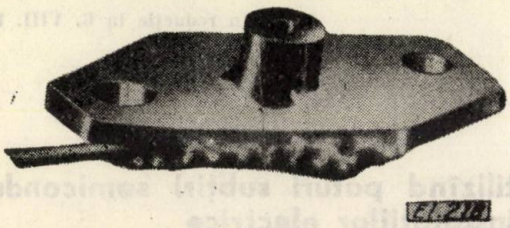


Fig. 7. Crusta formată pe contactele de wolfram condiţionate în prezenţa pertinaxului netratat termic.

Dacă se consideră că practic un contact asigură o funcţionare fără curăţarea prealabilă numai pînă în momentul cînd căderea de potenţial începe să crească brusc şi dacă se consideră acest moment ca moment al „căderii complete" a contactului, din experimentările efectuate se poate face o clasificare a materialelor încercate, în funcţie de durata de viaţă pe care acestea le-o asigură contactelor de wolfram (la temperatura de 60°C şi vapori de apă distilată): ţesătură impregnată cu poliesteri, 96 ore; praf de presare fenolformaldehidic cu umplutură de sticlă, 96 ore: email poliamidic, 96 ore; sticlotextolit, 87 ore; lac C 51 M, 48 ore; email tereftalic, 48 ore; email poliuretanic, 48 ore; pertinax tratat termic, 48 ore; cauciuc nitrilacrilic, 48 ore; hostafan, 24 ore; cauciuc-metil α-butadien-stirenic, 24 ore; pertinax netratat termic 24 ore; textolit tratat termic 24 ore; textolit netratat termic, 18 ore.

După cum se vede din diagrame, degradarea contactelor de wolfram se produce suficient de repede, chiar numai în prezenţa umidităţii.

Analiza chimică a crustei formate la suprafaţa contactelor a dat rezultatele din tabela 1. Pre-

Tabela 1

Rezultatele analizei chimice a crustei formate pe contacte

	Crustă formată pe contacte în prezenţa umidităţii şi a materialelor încercate	Crustă formată pe contacte în prezenţa umidităţii
Comportarea faţă de solvenţi organici	se dizolvă	nu se dizolvă
Comportarea faţă de HCl concentrat	se dizolvă	se dizolvă
Aspectul suprafeţei după spălare în HCl	aspectul inegal cu aparenţe de coroziune	aspectul inegal cu aparenţe de coroziune
Cationi identificaţi pe suprafaţă (după spălare acidă)	Fe, W	Fe

zenţa masivă a fierului în crusta formată pe suprafaţa contactelor se datoreşte suportului de fier pe care sînt fixate plăcuţele de wolfram, prin intermediul unui strat de cupru.

Din studiile efectuate pînă în prezent, nu s-a putut preciza mecanismul prin care apare fierul în stratul organic izolant care se formează pe suprafaţă. Se presupune că în prezenţa umidităţii se produce coroziunea suportului de fier, iar produşii formaţi invadează suprafaţa wolframului. Ar rezulta deci că degradarea contactelor de wolfram în prezenţa simplei umidităţi s-ar datora numai invaziei coroziunii suportului de fier.

Faptul că la analiza crustei formate pe suprafaţa contactelor de wolfram în prezenţa materialelor organice s-au identificat ioni de wolfram, precum şi aspectul de suprafaţă atacată al wolframului după îndepărtarea crustei confirmă ipoteze că această crustă se formează prin reacţia ce are loc în prezenţa umidităţii între wolfram şi substanţele volatile care se degajă din

materialele organice, cu formare în primă fază a oxidului de wolfram. Rezultatul obținut însă la analiza crustei formate la suprafața contactelor de wolfram numai în prezența umidității în care nu au fost identificați ioni de wolfram, s-ar părea că infirmă ipoteza de mai înainte. Urmează ca în lucrăruile viitoare să se verifice aceste rezultate.

În afara încercărilor descrise mai înainte, s-au executat încercări similare la temperatura de 45°C și 25°C pentru a se studia influența temperaturii asupra vitezei de degradare a contactelor de wolfram. Din încercările efectuate s-a constatat că trierea materialelor încercate din punct de vedere al agresivității lor față de contactele de wolfram s-a menținut aceeași ca la temperatura de 60°C, dar degradările sînt mai lente.

În scopul găsirii unei metode pentru evitarea degradării contactelor, conform indicațiilor din literatură [3], s-a mers pe calea folosirii unei unsori care să protejeze contactul de acțiunea agresivă a umidității și a substanțelor volatile din materialele organice. Pentru aceasta s-a procedat la ungerea contctelor cu diverse unsori protectoare.

Încercările s-au efectuat în aceleași condiții ca în cazul contactelor neprotejate, la temperaturile de 60°C, 45°C, 25°C.

Rezultatele încercărilor au arătat că la temperaturi cuprinse între 40°—60°C nici una din unsori nu conferă o protecție corespunzătoare contactelor de wolfram. La temperatura camerei, o comportare ceva mai bună au avut-o contactele protejate cu o unsoare pe bază de lanolină (preparată la ICPE) și cele protejate cu unsoare Doducont E_9 (R.F.G.).

La aceste contacte căderea de potențial a devenit practic infinită după circa 1080 ore în prezența pertinaxului și umidității, după circa 1500 ore în prezența sticlotextolitului și umidității și după circa 1600 ore numai în prezența umidității.

În prezent se execută încercări direct pe relee regulatoare, ale căror contacte sînt unse cu unsoare preparată la ICPE și cu unsoare Doducont E_9 (R.F.G.).

Concluzii.

Din prezentul studiu se desprind următoarele concluzii :

— Factorul determinant în degradarea contactelor de wolfram îl prezintă umiditatea mediului înconjurător.

— Natura materialelor organice utilizate în imediata apropiere a contactelor de wolfram în prezența umidității determină viteza de degradare a acestora.

— Experimentările efectuate au permis selecționarea materialelor cu cea mai mică agresivitate : țesătura de sticlă impregnată cu poliesteri, emailul poliamidic, sticlotextolitul cu rășină fenolformaldehidică modificată cu rășină epoxidică și cu umplutură din fire de sticlă.

— Ungerea contactelor de wolfram cu unsoare pe bază de lanolină (preparat (ICPE) asigură acestora o protecție similară cu cea conferită de unsoarea Doducont E_9 de la firma Doduco (R.F.G.).

Bibliografie

[1] *Keil, A.* Eine spezifische Korrosionserscheinung an Wolframkontakten (Un aspect specific de coroziune pe contactele de wolfram). În : Werkstoffe u. Korrosion, nr. 7, 1952, p. 263—265.

[2] *Meier, C. L.* Werkstoff-Effekte an Schwachstromkontakten (Efectul materialelor asupra contactelor de curenți slabi). În : Elektro-Welt, nr. 2 și 3, 1964, p. 7—9 și 30—32.

[3] Les contacts éléctriques. Constitution et conditions de fonctionnement (Contacte electrice. Structura și condiții de funcționare). În : L'Electricien **79**, nr. 2071, martie 1966, p. 97—102.

[4] *Dékány, L.* Gyengeáramu érintkezök megbizhatoságának változása környezeti hatásokra (Modificarea siguranței în funcționare a contactelor de curenți slabi în funcție de mediu). În : Finommekanika 4, nr. 12, dec 1965, p. 371—377.

Intrat în redacție la 6. VIII. 1968

Traductoare fotovoltaice de poziție și viteză utilizînd pături subțiri semiconductoare anizotrope pentru comanda mașinilor și instalațiilor electrice

Paul Cristea și Răzvan Măgureanu* — București

CZ 621.372.51 :537.311.33

Straturile subțiri obținute prin evaporare termică în vid pe suporți amorfi, orientați perpendicular pe direcția fasciculului de vapori, au fost îndelung studiate, atît datorită interesului științific al problemei — posibilitatea cercetării unor proprietăți ale corpului solid pe sisteme practic bidimensionale, cît și în legătură cu o serie de aplicații practice. Astfel de straturi prezintă de obicei o structură policristalină cu microcristale orientate haotic, sau amorfă, în funcție de condițiile de depunere. În ultimul timp s-a pus problema obținerii unor proprie-

Ing. *P. Cristea* și ing. *R. Măgureanu* sînt doctoranzi la Institutul politehnic — București.

tăţi deosebite a straturilor pe calea realizării unei orientări în structura acestora.

În acest sens se pot deosebi două direcţii de dezvoltare : straturi epitaxiale, depuse în anumite condiţii pe suporţi cristalini şi straturi depuse pe suporţi oblici.

În primul caz, pătura prezintă o structură influenţată de reţeaua cristalină a suportului, obţinîndu-se în condiţii adecvate chiar pături monocristaline. Astfel de straturi au proprietăţi mai apropiate de cristalul masiv decît de păturile policristaline obişnuite. Acest sistem are dezavantajul că cere o tehnologie dificilă, vid ridicat, puritate ridicată a materialului de depunere.

A doua cale de obţinere a unei orientări a structurii păturilor subţiri o reprezintă depunerea pe suporţi oblici, înclinaţi faţă de fasciculul de vapori incidenţi. În acest caz, structura este în general policristalină, însă creşterea cristalelor se face preferenţial pe direcţia evaporatorului, astfel că se poate obţine o orientare de ansamblu a structurii păturii.

Ca urmare, apare o anizotropie a proprietăţilor păturii în planul acesteia. Un avantaj important este tehnologia mai puţin pretenţioasă, puritatea materialului depus şi gradul de vid fiind mai puţin restrictive.

Celule fotovoltaice cu pături subţiri anizotrope

Straturile subţiri anizotrope obţinute prin depunere în vid sub incidenţă oblică (fig. 1), în afara interesului teoretic pe care îl prezintă, şi-au găsit aplicaţia în realizarea unor celule fotovoltaice de suprafaţă. S-au obţinut astfel de celule utilizînd telurura de cadmiu [1], germaniu [2], siliciu [3], arseniura de galiu [4], telur [5], [6], [7].

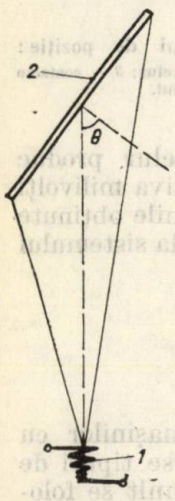


Fig. 1. Depunerea sub incidenţă oblică a straturilor subţiri semiconductoare anizotrope :
1 – evaporatorul; *2* – suport de sticlă

Pentru unele din aceste materiale tensiunea fotovoltaică obţinută este mult mai mare decît lărgimea benzii interzise a materialului semiconductor utilizat. Astfel, pentru telurură de cadmiu s-au obţinut tensiuni de ordinul 100 V/cm, arseniură de galiu 2 000 V/cm, pentru germaniu 5 500 V/cm, siliciu 600 V/cm.

Pentru a explica mărimea neobişnuită a efectului se presupune că fiecare cristalită din strat se comportă ca o celulă fotovoltaică independentă, tensiunea totală obţinîndu-se prin inserierea tensiunilor date de fiecare celulă componentă.

În cadrul acestui model se obţine schema echivalentă a stratului reprezentată în figura 2. Însumarea tensiunilor se datoreşte oblicităţii cristalitelor. Schimbarea sensului de depunere duce ca urmare la inversarea sensului tensiunii generate. Celulele fotovoltaice de înaltă tensiune au rezistenţe interne mari (de ordinul MΩ),ceea ce constituie un dezavantaj în utilizarea lor ca detectoare. Pentru realizarea de către autori a traductoarelor de poziţie s-au utilizat pături de telur care generează tensiuni

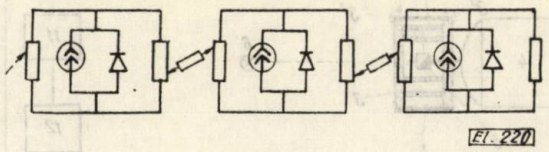


Fig. 2. Schema echivalentă a celulei fotovoltaice cu strat subţire anizotrop. Ansamblul păturii este alcătuit din celule elementare care reprezintă cristalitele. Însumarea tensiunilor generate se datoreşte oblicităţii cristalelor.

mici (de ordinul milivolţilor), însă au rezistenţe interne coborîte (de ordinul $10^3\Omega$). Straturile de telur au fost obţinute prin evaporare în vid de circa 10^{-5} torr, dintr-un evaporator alcătuit dintr-o spirală de wolfram. Grosimea păturilor este de ordinul 1—5 μ, viteza de depunere de circa 1 000 Å/min, iar unghiul de incidenţă este de aproximativ 60°.

Tahometrul fotovoltaic

Sînt cunoscute numeroase procedee de măsurare a vitezei de rotaţie : procedeele stroboscopice , tahometrele mecanice sau electrice, dispozitivele fotoelectrice cu obturator mecanic. Acestea prezintă însă unele dezavantaje care le fac neaplicabile pentru măsurarea turaţiei micromotoarelor şi în special a regimurilor tranzitorii, cînd interesează variaţia vitezei de rotaţie în cursul cîtorva ture. Astfel, procedeele stroboscopice nu pot fi utilizate decît în regim staţionar, iar tahometrele mecanice sau electrice, ca şi dispozitivele fotoelectrice avînd ca obturator un disc, prezintă un moment de inerţie şi un cuplu de frînare ridicat.

S-a căutat să se elimine aceste dezavantaje utilizînd un sistem care sesizează poziţia rotorului urmărind rotaţia unui spot de lumină deviat de o microprismă sau o microoglindă *5* montată pe axul motorului *4* (fig. 3). Spotul de lumină parcurge interiorul unui cilindru de sticlă *1* pe care sînt depuse păturile subţiri anizotrope de telur *2* (fig. 3, 4). Acestea au fost obţinute prin două depuneri succesive din sensuri contrare, două pături alăturate avînd sensuri de incidenţă opuse. Ca urmare, tensiunea care se culege la bornele *3'* prin inelele de aur sau aluminiu *3*, care pun în paralel dife-

ritele pături, schimbă semnul cînd spotul trece de pe o pătură pe alta. Impulsurile de tensiune de polarităţi contrare corespund deci poziţiilor succesive ale rotorului şi permit urmărirea acestuia, măsurarea vitezei şi a acceleraţiei sale unghiulare.

Schema-bloc a tahometrului (fig. 3) cuprinde, în afara elementului sensibil *2*, partea de prelucrare a informaţiei pentru afişarea directă a vitezei şi acceleraţiei unghiulare; amplificatorul *7*, limitatorul *8*, circuitul de derivare *9*, monostabilul *10* pentru formarea impulsului, integratorul *11*, derivatorul *12*, sistemele de înregistrare şi afişare *13*, *14*, *15*.

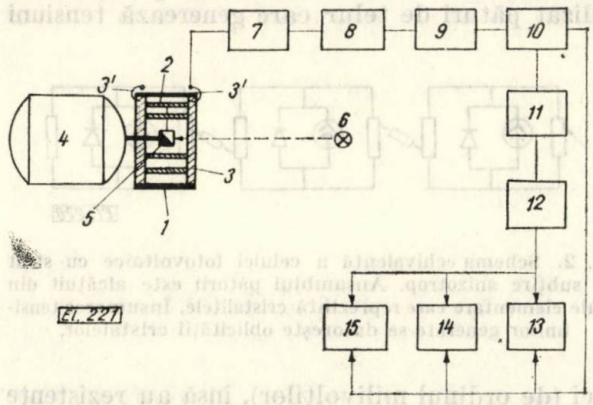


Fig. 3. Schema-bloc a tahometrului fotovoltaic:

1 – cilindru de sticlă *2* – pătura subţire anizotropă de telur; *3* – inele colectoare de aur sau aluminiu; *4* – micromotorul încercat; *5* – microprismă sau microoglindă; *6* – sursă de lumină; *8* – limitator; *9* – circuit de derivare; *10* – monostabil pentru formarea impulsurilor; *11* – integrator; *12* – derivator; *13*, *14*, *15* – sisteme de citire şi afişare a informaţiilor (aparate digitale sau osciloscop).

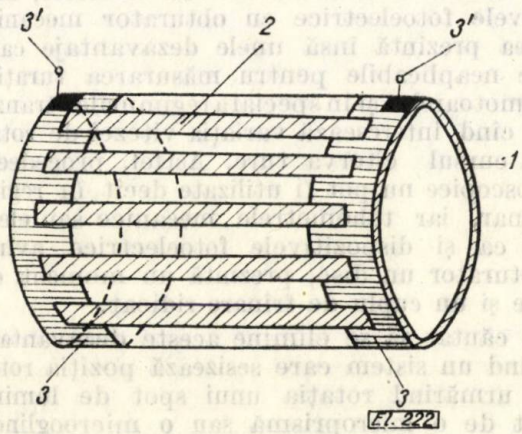


Fig. 4. Elementul sensibil al tahometrului:

1 – cilindru de sticlă pe care se depun păturile: *2* – păturile subţiri de telur; *3* – inele colectoare; *3'* – borne.

În practică, ansamblul circuitelor pentru amplificarea şi formarea impulsurilor este înlocuit pe un generator autoblocat cu un singur tranzistor, lucrînd în regim declanşat şi generînd impulsuri standard.

Traductor de poziţie rotoric

În cazul maşinilor electrice cu comutaţie electronică comanda transistoarelor sau tiristoarelor din sistemul de alimentare se face de către diverse traductoare de poziţie rotorică. Cele mai obişnuite sînt traductoarele inductive, Hall sau capacitive, precum şi cele utilizînd celule fotoelectrice.

Autorii au realizat un nou tip traductor de poziţie de preţ scăzut şi cu mare viteză de răspuns, utilizînd ca elemente fotosensibile pături subţiri anizotrope de telur, depuse pe un suport de sticlă *1* (fig. 5), traductor montat pe unul din scuturile maşinii. La capetele fiecărei pături de telur au fost depuse cîte două contacte de aur sau aluminiu *3*. Pe axul motorului există un disc cu o fantă care permite iluminarea a cîte două celule învecinate simultan. Atunci

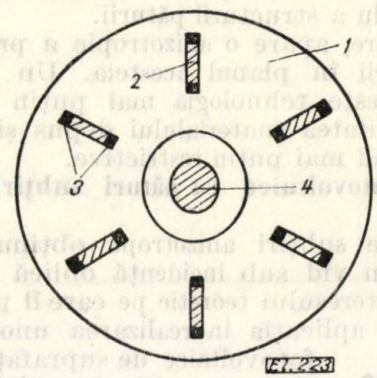


Fig. 5. Elementul sensibil al traductorului de poziţie:

1 – disc de sticlă; *2* – pătură subţire anizotropă de telur; *3* – contacte de aur sau aluminiu; *4* – axul motorului.

cînd sînt iluminate, păturile de telur produc un efect fotovoltaic de ordinul a cîţiva milivolţi ce se culege la contactele *3*. Tensiunile obţinute sînt prelucrate şi utilizate în comanda sistemului de alimentare al maşinii.

Traductoare de poziţie liniare

În comanda instalaţiilor sau maşinilor cu mişcare liniară se utilizează diverse tipuri de traductoare de poziţie. Cel mai mult se folosesc potenţiometrele rezistive, ale căror contacte glisante conduc la o serie de neplăceri. Se propune utilizarea unor traductoare de poziţie liniară folosind pături subţiri semiconductoare anizotrope (fig. 6, *a*). Datorită tocmai acestor proprietăţi de anizotropie în tensiune şi rezistenţă, atunci cînd spotul de lumină *3* se plimbă de-a lungul păturii *1*, la contactele *2'*—*2''* se obţine o tensiune electrică funcţie de poziţia spotului faţă de aceste contacte (fig. 6, *b*).

Pentru o construcţie corespunzătoare între anumite limite, această variaţie de tensiune poate fi făcută liniară, tensiunea la bornele 2'—2'' fiind $u = K \frac{X}{X_1 - X_0}$ pentru $X_0 < X < X_1$.

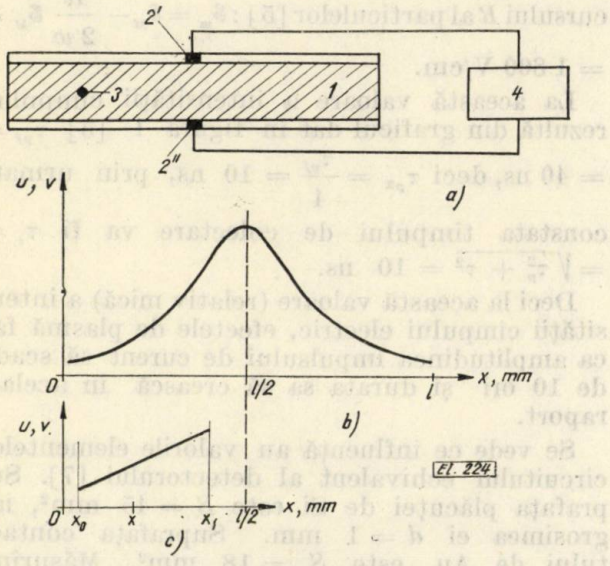


Fig. 6. Traductor de poziţie pentru mişcări liniare :
a — construcţia propriu-zisă; *b* — variaţia tensiunii la bornele 2'—2'' la mişcarea spotului de lumină de-a lungul păturii; *c* — domeniu de variaţie liniară a tensiunii cu poziţia; *1* — pătura subţire anizotropă de telur; 1—contacte centrale de aur sau aluminiu; *3* — spotul de lumină; *4*—voltmetru electronic sau sistem de măsură şi comandă.

Concluzii

Traductoarele fotovoltaice utilizînd pături subţiri semiconductoare anizotrope sînt de construcţie simplă, au preţ de cost redus, sînt sigure în exploatare, nefiind supuse îmbătrînirii, putînd fi realizate în condiţii nepretenţioase, ceea ce le recomandă pentru introducerea în practica industrială.

Au o constantă de timp foarte redusă, mai scăzută decît aceea a celulelor fotoelectrice, putînd fi folosite în sisteme cu mare viteză de răspuns.

Efectul fotovoltaic se obţine nu numai la iluminări în spectrul vizibil de la surse obişnuite sau cu un fascicul laser, ci şi în domeniul infraroşu, ceea ce permite utilizarea acestor pături ca traductoare pentru o serie de alte aplicaţii industriale.

Bibliografie

[1] *Goldstein, B.* şi *Pensak, L.* High-Voltage Photovoltaic Effect. În : Journ. Appl. Phys., **30**, nr. 155, 1959.
[2] *Nakai, J.* Photovoltaic Effect of Germanium Thin Film Obliquely Deposited in Vacuum. Oyo Buturi **31**, nr. 4, 1962.
[3] *Adirovici E. I., Rubinov, V. M.* şi *Inabov, Iu. M.* Studiul fototensiunii anormal de mare în păturile subţiri de siliciu. În : Fiz. Tverd. Tela, **157**, nr. 1, 1964, p. 76.
[4] *Martinuzzi, S.* Propriétés photovoltaiques présentées par des couches minces d'arséniure de galium évaporées obliquement. În : C. R. Acad. Sci. Paris, **258**, nr. 6, 1964, p. 1 769.
[5] *Gheorghiţă-Oancea. C.* şi *Cristea, P.* Observations on the photovoltaic effect of tellurium thin layers obliquely deposited in vacuum. În : Physics Letters, **13**, nr. 2, 1964, p. 117—118.
[6] *Agîrbiceanu, I., Cristea, P.* şi *Gheorghiţă-Oancea, C.* On the mechanism of the photovoltaic effect of tellurium layers obliquely deposited. În : Physics Letters, **18**, nr. 3, 1965, p. 221—222.
[7] *Agîrbiceanu, I., Gheorghiţă-Oancea, C.* şi *Cristea, P.* Sur l'effect photovoltaïque des couches minces de tellure. Basic Problems in Thin Film Physics. În : Proceedings of the International Symposium Clausthal, Göttingen, 6—11 sept 1962, p. 662—665.

Intrat în redacţie la 7. XII. 1968

Regimul de scurtcircuit al detectoarelor de radiaţii nucleare cu semiconductoare

Dorin N. Poenaru — Bucureşti

CZ 621.385.2 :539.1.074

În multe experienţe de fizică nucleară realizate cu aceleratoare de particule, „evenimentele" utile, puţine la număr, apar suprapuse peste un fond intens indus de reacţii nucleare parazite.

Procesul de detecţie cu detectoare cu semiconductoare DS este în sine rapid [1], dar viteza maximă de înregistrare este limitată de cerinţa amplificării cu zgomot mic şi conversia amplitudine-numerică (în analizorul de amplitudini multicanal) la $\sim 10^4$ evenimente pe secundă. De obicei, în spectrometrie se folosesc preamplifcatoare sensibile la sarcină [1] care dau la ieşire un impuls exponenţial cu constantă de cădere relativ mare ($\sim$100 μs).

În aceste condiţii dacă atît fondul cît şi semnalele dorite sînt admise la intrarea unui amplificator lent înglobat în lanţul spectrometric, încălecarea rezultantă („pile-up") înrăutăţeşte rezoluţia energetică a spectrometrului de particule nucleare sau într-un caz extrem „maschează" complet fenomenul de studiat.

* Dr. Ing. *D. N. Poenaru* este inginer principal la I. F. A.

Pentru a utiliza timpul de colectare scurt existent la *DS*, o soluţie constă în folosirea impulsurilor scurte de curent [2]. Preamplificatorul asociat detectorului va fi în acest caz un preamplificator de curent — cu mică impedanţă de intrare [3] şi *DS* va lucra în regim de scrtcircuit. În prezenta lucrare se exemplifică modul în care se utilizează teoria regimului de scurtcircuit al DS dezvoltată anterior [7] şi se prezintă verificări experimentale ale acesteia.

Calculul formei impulsului de curent în regim de scurtcircuit al detectorului

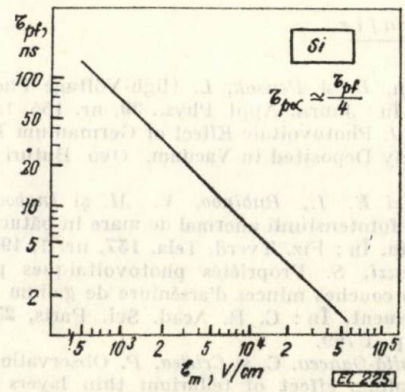


Fig. 1. Timpul plasmei în detectoare de tip *L* din Si în funcţie de cîmpul mediu nedistorsionat pentru fragmente de fisiune şi particule alfa.

Se consideră pentru exemplificare un detector cu strat barieră la suprafaţă SBB1 realizat în ţară [4] şi un detector TDB—200 („SIMTEC" — Canada) de parametri cunoscuţi. Se pot face calcule complete de predeterminare a formei impulsului de curent utilizînd teoria din [7] şi rezultatele experimentale din [5].

Detectorul SBB1 este un detector cu strat barieră la suprafaţă pe Si de tip *N* cu $\rho = 1\,000$ Ωcm, deci constantă de relaxare dielectrică $\tau = \rho\varepsilon = 1$ ns. Cu această constantă de timp τ, dacă timpul plasmei τ_p şi toate rezistenţele serie din circuitul echivalent ar fi nule: $\tau_p = 0$; $R_s = R_c = R_0 = 0$, pentru particule cu parcurs scurt ($R \ll w$) în cîmp de colectare slab ($\mathcal{E} < \mathcal{E}_t$) atunci amplitudinea impulsului de curent ar fi de 44,5 μA/MeV, frontul nul şi durata la semiînălţime $t_{LSI} = 0{,}64$ ns. Valoarea maximă a intensităţii cîmpului de colectare la o tensiune inversă $V_a = 5$ V este $\mathcal{E}_M = 2\,V_a/w = 2\,700$ V/cm, deci se poate neglija scăderea mobilităţii purtătorilor de sarcină datorită cîmpului intens. Grosimea regiunii de sarcină spaţială pentru $V_a = 5$ V este $w = 37$ μ, iar capacitatea barierei pe unitate de suprafaţă $C_D/S_\mu = 2{,}8$ pF/mm², astfel că $C_D = 50$ pF deoarece $S_\mu = 18$ mm².

Particulele alfa de 5,15 MeV au în Si un parcurs $R \simeq 25$ μ deci raportul $(R/w) = 0{,}68$, valoare la care din nomograma dată în [6] se vede că rezultă acelaşi τ_p ca pentru $R/w = 0$, deci parcursul finit al particulei nu modifică în acest caz forma impulsului de curent.

Pentru a determina timpul plasmei τ_p este necesar să se calculeze o valoare medie $\mathcal{E}_m$ a cîmpului de colectare existent de-a lungul parcursului R al particulelor [5]: $\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_M - \frac{R}{2w}\mathcal{E}_M =$ $= 1\,800$ V/cm.

La această valoare a intensităţii cîmpului, rezultă din graficul dat în figura 1 [5] $\tau_{pf} =$ $= 40$ ns, deci $\tau_{p\alpha} = \frac{\tau_{pf}}{4} = 10$ ns, prin urmare constata timpului de colectare va fi $\tau_t = \sqrt{\tau_p^2 + \tau^2} = 10$ ns.

Deci la această valoare (relativ mică) a intensităţii cîmpului electric, efectele de plasmă fac ca amplitudinea impulsului de curent să scadă de 10 ori şi durata sa să crească în acelaşi raport.

Se vede ce influenţă au valorile elementelor circuitului echivalent al detectorului [7]. Suprafaţa plăcuţei de Si este $S = 45$ mm², iar grosimea ei $d = 1$ mm. Suprafaţa contactului de Au este $S_a = 18$ mm². Măsurînd rezistenţa în sens direct de polarizare, s-a obţinut $R_c = R_s = 550$ Ω şi cum în acest regim $w = 0$ rezultă $R_{s0} = \rho\frac{d}{s} = 220$ Ω deci rezistenţa contactului $R_c = 550 - R_{s0} = 330$ Ω. Cu tensiunea $V_a = 5$ V, rezistenţa serie devine $R_s = \rho\frac{d-w}{S} = 210$ Ω, iar C_D după cum s-a văzut, are valoarea $C_D = 50$ pF. Din relaţia $R_s C_s = \rho\varepsilon$ rezultă $C_s = 5$ pF, deci circuitul echivalent al *DS* tip SBB1 cu tensiunea aplicată $V_a = 5$ V, valabil pentru calculul impulsului dat de particule alfa de 5,15 meV, este cel prezentat în figura 2 dacă rezistenţa de intrare a

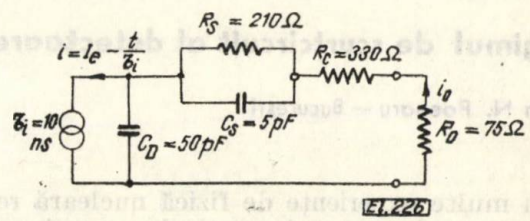


Fig. 2. Exemplu de circuit echivalent al unui *DS* de tip *L*·

preamplificatorului (cu cablu adaptat) este $R_0 = 75$ Ω.

Se utilizează relaţiile de calcul din [7], tabela 3, cazul *LI*, adică:

$$\frac{i_0(\zeta)}{I_M} = A_1 e^{-n\xi} + A_2 e^{-m\xi} + A_3 e^{-\xi}, \quad (1)$$

unde :

$$\zeta = \frac{t}{\tau_i}, \tag{2}$$

$$I_M = I_i \frac{\tau_i}{\tau_{ed}} = \frac{Q}{\tau_{ed}} = \frac{E}{\varepsilon} \cdot \frac{e}{\tau_{ed}} = \frac{44{,}5}{\tau_{ed}} E, \tag{3}$$

$$A_1 = \frac{k-n}{(m-n)(1-n)}, \tag{4}$$

$$A_2 = \frac{k-m}{(n-m)(1-m)}, \tag{5}$$

$$A_3 = \frac{k-1}{(n-1)(m-1)}, \tag{6}$$

$$k = p_{01}\tau_i ; \; n = p_1 \tau_i ; \; m = p_2 \tau_i ; \; \frac{k}{nm} = \frac{\tau_{ed}}{\tau_i}; \tag{7}$$

$$p_1 = \frac{1}{\tau}, \tag{8}$$

$$p_{1,2} = \frac{\tau + \tau_{ed} + \tau_{sd} \mp [(\tau - \tau_{ed} + \tau_{sd})^2 + 4\tau_{ed}\tau_{sd}]^{1/2}}{2\tau\,\tau_{ed}}. \tag{9}$$

$R_e = E_e + R_0 = 405\ \Omega$ deci $\tau_{ed} = R_e C_D = 20$ ns si $\tau_{sd} = R_s C_D = 10$ ns. Polii funcției de transfer a rețelei sînt

$$p_{1.2} = \frac{31 \mp \sqrt{8\,810}}{40}\ \text{GHz}. \tag{10}$$

Sub formă normată $k = \tau_i/\tau = 10$; $n = p_1\tau_i = 0{,}33$; $m = p_2\tau_i = 15$. Datorită valorii mici a lui n, acesta s-a determinat din relația (9), $n = (k\,\tau_i)/(m\,\tau_{ed})$, care dă precizie mai bună decît (10).

Constantele A_k sînt: $A_1 = (k-n)(m-n)^{-1}(1-n)^{-1} = 0{,}98$ $A_2 = (k-m)(n-m)^{-1}(1-m)^{-1} = -0{,}02$; $A_3 = (k-1)(n-1)^{-1}(m-1)^{-1} = -0{,}96$ și deci expresia impulsului de curent la intrarea preamplificatorului :

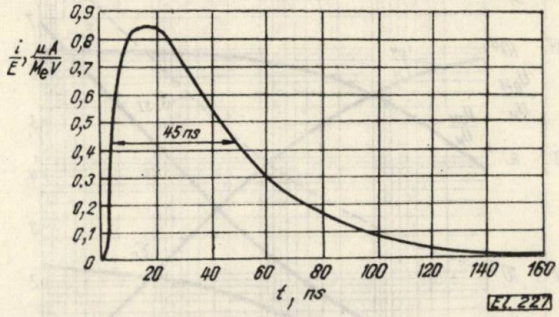
$$\frac{i_0(\zeta)}{I_M} = 0{,}98\, e^{-0{,}33\xi} - 0{,}02\, e^{-15\xi} - 0{,}96\, e^{-\xi} \tag{11}$$

Factorul al doilea este neglijabil atît datorită variației rapide a exponențialei cît și datorită coeficientului mic în raport cu ceilalți termeni ; ξ este timpul normat, iar

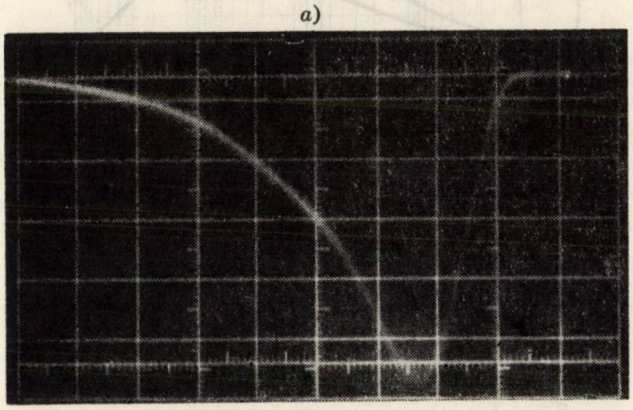
$$\frac{I_m}{E} = \frac{44{,}5}{20}, \frac{\mu A}{\text{MeV}}.$$

Impulsul de curent (calculat) raportat la energia particulei este reprezentat în figura 3,a. Se observă că în afara influenței plasmei, elementele circuitului echivalent au mai produs scăderea amplitudinii de la 4,45 μA/MeV la 0,85 μA/MeV, deci de 5,2 ori, și lungirea duratei la semiînălțimea impulsului de la 6,3 ns la 45 ns (de 7 ori). De asemenea, frontul impulsului de curent are de data aceasta o valoare finită. Pentru comparație, se dă în figura 3, b oscilograma impulsului [3] de curent obținut cu acest detector, ca răspuns la particula alfa de 5,15 MeV (sursă de Pu^{39}). Scala orizontală este de 20 ns/cm, iar cea verticală este de 1 μA/cm. Se observă o concordanță suficient de bună cu experiența, în limita erorilor experimentale. Acest rezultat constituie o verificare a teoriei din [7] și o confirmare a justeței datelor experimentale din [5].

Detectorul TDB — 200 este un detector cu joncțiune difuzată pe Si de tip P cu $\rho = 5\,300$ Ω cm, prin urmare $\tau = \rho\varepsilon = 5{,}6$ ns, deci în absența efectelor plasmei și a elementelelor rezis-



a)



b)

Fig. 3. Forma impulsului de curent (*a*) dat de particule alfa în *DS* de tip L a cărui schemă echivalentă este dată în figura 2 și oscilograma impulsurilor de curent date de *DS* ca răspuns la particule alfa (*b*).

tive ale circuitului echivalent $I/E = 8$ μA/MeV și durata la semiînălțime $t_{LSI} = 0{,}63$. $5{,}6 = 3{,}5$ ns. Raportul $(R/w) \ll 1$, deci se poate considera că sarcinile sînt create toate în același plan. Grosimea detectorului este 200 μ, și la o tensiune $V_a = V_p \simeq 70$ V, întreg volumul său este sensibilizat. Valoarea maximă a cîmpului joncțiunii este : $\mathcal{E}_M = 2V_a/d = 7\,000$ V/cm și media pe lungimea parcursului particulelor alfa de 5,15 MeV este $\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_M - \frac{R}{2W}\mathcal{E}_M = 4\,600$ V/cm. Din graficul dat în figura 1 rezultă la această valoare a cîmpului un timp al plasmei pentru fragmente de fisiune $\tau_{pf} = 16$ ns, deci pentru particule alfa $\tau_{p\alpha} = 4$ ns, astfel că timpul de colectare total ar fi $(\tau^2 + \tau_{p\alpha}^2)^{1/2} = 6{,}8$ ns, dacă valoarea cîmpului nu ar fi peste limita de liniaritate. Deoarece $\mathcal{E} > \mathcal{E}_t$ și $V_a = V_p$ se adaugă la $\tau = \rho\varepsilon$ încă un

termen $0{,}63\ d/v_s = 1{,}26$ ns cu $v_s = 10^7$ cm/s. Deci $\tau_i = [(\tau = 0{,}63\ d/v_s)^2 + \tau_{p\alpha}^2]^{1/2} = 8$ ns.

În absența unei rezistențe de contact se obține $I/E = 44{,}5/8 = 5{,}5$ μ A/MeV și $t_{LSI} = 5$ ns, adică un factor de înrăutățire a caracteristicilor temporale de $8/5{,}6 = 1{,}4$. Se observă efectul mult mai mic al plasmei în acest caz

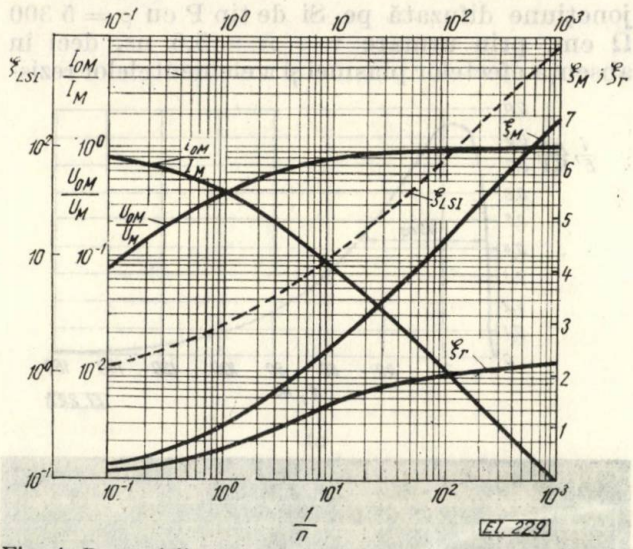


Fig. 4. Parametrii de cîmp și amplitudine a impulsurilor de tensiune în cazul $L_d^0\ V$ și curent pentru $L_d I$; $L_d I_0$, $L_d^0\ I$.t

față de detectorul precedent datorită cîmpului de colectare mai intens.

Dispozitivul are o suprafață cu aria de 1 cm² și rezistența serie măsurată în sens direct $R_s + R_c = 310\ \Omega$. Pentru polarizări directe $R_s = \rho \frac{d}{s} = 106\ \Omega$, deci $R_c = 220\ \Omega$. Capacitatea $C_D = 55$pF.

Deoarece în cazul $L_d I$ se poate utiliza graficul dat în figura 4 [7] din care pentru:

$$\frac{1}{n} = \frac{\tau_{ed}}{\tau_i} = \frac{R_c C_D}{\tau_i} = \frac{(R_c + R_0) C_d}{\tau_i} = \frac{15{,}1}{8} = 1{,}9 \simeq 2$$

rezultă:

$$\xi_r = 0{,}8;\quad \xi_M = 1{,}4;\quad \xi_{LSI} = 6$$

și

$$\frac{I_{0M}}{I_M} = 0{,}25$$

unde

$$I_M = I_i \frac{\tau_i}{\tau_{ed}}.$$

Se obține $I_{0M}/E = 1{,}4$ μ A/MeV și $t_r = 6{,}4$ ns; $t_M = 11{,}2$ ns, $t_{LSI} = 48$ ns. Factorul de înrăutățire a caracteristicilor temporale dat de elementele circuitului echivalent este deci $5{,}5/1{,}4 \simeq 4$ și $48/5 = 9{,}6$ pentru amplitudine și respectiv durată.

Dacă acest impuls este amplificat (de amplificatorul unui sincroscop de exemplu) care are o constantă a timpului de creștere comparabilă cu τ_i, se va produce încă o înrăutățire a amplitudinii și duratei în raportul $0{,}37/0{,}27 = 1{,}4$ și respectiv $68/48 = 1{,}4$, deci pe ecranul sincroscopului impulsul va apare cu $I_{0M}/E = 1$μA/MeV și $t_{LSI} = 68$ ns. Deși fabricat dintr-un material cu rezistivitate de cinci ori mai mare, cu acest detector se obțin caracteristici temporale comparabile cu ale detectorului *SBBI* datorită rezistenței serie mai mici și cîmpului de colectare mai intens.

Rezultatele experimentale obținute cu acest detector sînt trecute în tabela 1, care prezintă principalii parametri ai celor două detectoare, permițînd să se facă o comparație ușoară între valorile calculate și verificările experimentale.

În concluzie, metoda de calcul prezentată permite să se predetermine cu suficientă precizie forma impulsurilor de curent debitate de *DS* în regim de scurtcircuit. De menționat că aici lucrîndu-se cu cablu adaptat, sarcina detectorului era constituită din $R_0 = 75\ \Omega$ — impedanța caracteristică a cablului. Examinarea schemei echivalente din figura 2 arată că în cazul $R_0 = 0$ calculele nu se modifică esențial.

Tabela 1

Amplitudinea și durata impulsurilor de curent date de DS

Detectorul	δ, Ωcm	d, mm	V_a, V	C_D, pF	R_s, Ω	R_c, Ω	Particule: tip	Particule: E, MeV	τ_i, ns	IE^{-1}, μA/MeV: măsurat	IE^{-1}, μA/MeV: calculat	τ_{LSI}, ns: măsurat	τ_{LSI}, ns: calculat
SBB1	1 000 (N)	—	5	50	210	330	α	5,15	10	1	0,84	50	45
TDB—200	5 300 (P)	0,2	70	80	0	200	α	5,15	8	0,8	1	60	68

Bibliografie

[1] *Poenaru, D. N.* și *Vîlcov, N.* Măsurarea radiațiilor nucleare cu dispozitive semiconductoare. București, Editura Academiei, 1967.

[2] *Poenaru, D. N.* Disertație. Institutul politehnic București, 1968.

[3] *Poenaru, D. N.* În: Nuclear Instruments and Methods 54, 1967, p. 242.

[4] *Bădănoiu, M.* și *Constantinescu, S.* În: Rev. Roum, *Phys.* **11**, nr. 7, 1966, p. 559.

[5] *Meyer, H.* În: IEEE Transactions NS—13, nr. 3, 1966, p. 180.

[6] *Tove. P. A.* și *Falk, K.* În: Nuclear Instruments and Methods 12, 1961, p. 278.

[7] *Poenaru, D. N.* În: Nuclear Instruments and Methods **54**, 1967, p. 229.

Intrat în redacție la 12. XII. 1968

RECENZII

CZ 621.314.63:621.385.3

V. A. Labunțov ș. a. **Invertoare autonome tiristorizate** (Avtonomîie tiristornîie invertori). Moscova, Energhia, 1967, 160 pag.

Lucrarea este contribuția unui colectiv de la catedra de electronică industrială a Institutului energetic din Moscova, condus de Labunțov, la studiul invertoarelor autonome.

În scurta introducere, care precede cele trei capitole ale cărții, autorii remarcă scopul acestei lucrări de a umple un gol nejustificat în domeniul literaturii care tratează problema invertoarelor autonome, contribuind astfel la alcătuirea unui îndreptar util tuturor specialiștilor ocupați în proiectarea, investigarea și adaptarea pentru nevoi practice a invertoarelor autonome.

Primul capitol al cărții este consacrat particularităților principale ale invertoarelor autonome. Spre deosebire de invertoarele dependente (neautonome), care returnează energia în rețea, unde există deja surse de energie de aceeași frecvență, invertorul autonom nu are în rețeaua receptoare surse de energie activă de aceeași frecvență (de exemplu, generatoare sincrone). Pe scurt, invertoarele de acest tip lucrează cu o sarcină autonomă.

Sînt de asemenea discutate metode de blocare ale tirstoarelor și se prezintă unele particularități principale ale folosirii tirstoarelor în invertoarele autonome. Autorii prezintă și o metodă originală pentru calcularea grupurilor de protecție RC la supratensiuni, care sînt conectate în paralel pe tiristoare, precum și a inductanțelor saturabile din anodul tirstoarelor.

Autorii efectuează o clasificare a invertoarelor autonome. La baza acestei clasificări sînt puse metodele de blocare ale tiristoarelor. Independent de clasificarea făcută pe această bază, invertoarele mai pot fi împărțite în două mari grupe: invertoare de curent și invertoare de tensiune. Se efectuează o analiză comparativă a proprietăților acestor două grupuri de invertoare.

În continuare sînt formulate cerințele pe care trebuie să le îndeplinească invertoarele autonome și sînt prezentate metode de reglare a tensiunii la ieșirea invertorului. Se analizează detaliat particularitățile motoarelor asincrone, alimentate de la invertoarele autonome (I. A). Sînt de asemenea prezentate o serie de contribuții originale ale autorilor în domeniul autoexcitării capacitive a acestor motoare, alimentate de la I. A.

Al doilea capitol al cărții este consacrat invertorului paralel. Sînt specificate particularitățile acestuia și se efectuează o analiză a invertorului paralel cu o inductanță L de valoare mare. Este prezentat un calcul al caracteristicii invertorului paralel prin metoda armonicii de bază. Este ilustrată folosirea locurilor geometrice pentru analiza regimului de lucru al invertorului de curent. Se prezintă un invertor paralel cu însumarea geometrică a tensiunilor la ieșire. În încheierea capitolului este analizat un invertor paralel cu o bobină de netezire cu o valoare mică a inductivității în circuitul de curent continuu, avînd la ieșire o tensiune de o formă aproape dreptunghiulară.

Al treilea capitol al lucrării este consacrat invertoarelor serie și invertoarelor serie-paralel. Sînt analizate regimurile de lucru ale invertoarelor monofazice cu sarcină rezistivă,cu sarcină rezistivo-inductivă și se discută caracteristica externă a invertorului serie. Se efectuează un calcul al invertorului serie monofazic prin metoda locurilor geometrice. În cadrul analizei detaliate a invertorului trifazic în punte, este discutată și problema repartizării tensiunilor pe tiristoarele din invertor. În încheiere este tratat invertorul serie-paralel și sînt subliniate o serie de avantaje ale acestuia. Sînt prezentate o serie de variante ale invertorului serie-paralel de bază, precum și ale invertorului serie.

Pe tot cuprinsul cărții, autorii au subliniat particularitățile specifice folosirii tiristoarele în invertoarele autonome. După apariția acestei lucrări, autorii au subliniat o serie de articole în care aduc precizări substanțiale ale unor procese care au fost tratate mai superficial.

În cele 160 pagini ale cărții, autorii au comprimat un bogat material de interes practic. Cele peste 90 de titluri bibliografice citate în lucrare pot fi de un real folos tuturor celor ce se interesează îndeaproape de unele probleme specifice invertoarelor cu tiristoare. Cartea este de un real interes practic pentru specialiștii ocupați în domeniile de proiectare și folosire practică a invertoarelor cu tiristoare.

A. Silard

Fasol. K. H. **Caracteristicile de frecvență.** Introducere în bazele procedeelor utilizînd caracteristici de frecvență și aplicarea lor în reglarea automată (Die Frequenzkennlinien. Eine Einführung in die Grundlagen des Frequenzkennlinienverfahrens und dessen Anwendungen in der Regelungstechnik). Wien, New York, Springer Verlag. 1968, 264 pag.

Descrierea comportării dinamice a sistemelor de reglare automată și a celor de acționări electrice automatizate, utilizează curent, funcția de transfer și caracteristicile de frecvență ale sistemului. Deoarece astăzi nu se mai poate concepe calculul și proiectarea sistemelor de reglare automată fără utilizarea caracteristicilor de frecvență, cu ajutorul cărora se pot obține nu numai comportarea tranzitorie și asimptotică, ci și informații privind stabilitatea sistemului și optimizarea acestuia.

Lucrarea de față prezintă, pentru prima dată, o monografie care tratează domeniul caracteristicilor de frecvență, atît din punct de vedere teoretic cît și aplicativ. Dacă importanța teoretică a caracteristicilor de frecvență (pentru teoria reglării automate) este foarte mare, importanța practică a lor este și mai mare (pentru utilizatori, pentru proiectanții de sisteme de reglare automată). Dovada actualității acestei teme o constituie și numeroasele lucrări de specialitate apărute în ultimii ani în literatura anglo-saxonă și cea sovietică.

Trebuie remarcat faptul că instrumentul matematic la care recurge autorul este, așa cum era de așteptat, calculul operațional bazat pe transformarea Laplace, la transformarea Fourier și la alte procedee de calcul mai puțin calsice, dar accesibile inginerului.

Lucrarea este împărțită în trei părți mari : A. Sisteme liniare, B. Sisteme neliniare și discontinue și C. Analiza experimentală și identificarea.

Prima parte (A) cuprinde la rîndul ei 7 capitole, tratînd în principal probleme de descriere a comportării dinamice a sistemelor de reglare automată liniare cu ajutorul caracteristicilor de frecvență (cap. 1 și 2), relația dintre caracteristicile de fază și cele de amplitudine (cap. 3) și calculul caracteristicilor de frecvență ale buclelor închise (cap. 4). Capitolele 5 și 6 tratează analiza stabilității sistemelor liniare de reglare automată și a calității stabilității, utilizînd bineînțeles caracteristicile de frecvență. Această primă parte se încheie cu importanta problemă a sintezei circuitelor de reglare automată (tratată în cap. 7) în care se vorbește și despre optimizarea sistemelor.

Cea de a doua parte (B), care cuprinde la rîndul ei 3 capitole, se ocupă în mare de aceleași probleme, dar vizînd de data aceasta sistemele neliniare. Astfel metoda funcțiilor de descriere și aplicarea sa la analiza sistemelor neliniare formează obiectul capitolului 8, care mai include și aplicarea metodei amintite la studiul stabilității sistemelor neliniare (metoda celor două locuri geometrice). În continuare se examinează sistemele cu relee și aplicarea caracteristicilor de releu la studiul acestora (cap. 9), deosebindu-se scheme simetrice de sisteme cu relee, cu sau fără timp mort.

În încheierea celei de a doua părți, capitolul 10 ne prezintă sistemele de reglare automată prin testare și modul cum metoda funcțiilor de descriere se aplică la studiul acestora.

Ultima parte, a treia (C), conține de fapt un singur capitol (cap. 11), care se ocupă cu executarea și interpretarea măsurilor necesare analizei experimentale și a proceselor de identificare. Tot aici se dau detalii despre generatoarele de funcții sinusoidale, electrice, mecanice sau geometrice, ca și asupra alegerii amplitudinii și a domeniului de frecvență.

Lucrarea se încheie cu o bogată literatură, cu index de numere și termeni și cu cîteva diagrame conținînd graficele caracteristicilor de frecvență pentru elemente de ordinul 1 și 2, diagrama Nicholas ș. a.

Este interesant de remarcat că în prezent, cînd asistăm la o foarte puternică revoluţie a tehnicii de calcul, datorită introducerii calculatoarelor (atît la efectuarea de calcule propriuzise cît şi la conducerea proceselor), are loc şi o lărgire a bazelor teoriei reglării automate şi a aplicaţiilor acestora. De fapt aceste două domenii se întrepătrund şi se completează reciproc (este evident că caracteristicile de frecvenţă pot fi calculate cu ajutorul unui calculator electronic).

Lucrarea specialistului german constituie o preţioasă monografie asupra caracteristicilor de frecvenţă şi a utilizării acestora în practica proiectării sistemelor de reglare automată, care prezintă în momentul de faţă un mare interes, atît pentru inginerul şi cercetătorul automatist, care se ocupă cu dezvoltarea regulatoarelor automate, cît şi pentru inginerul electrotehnician sau energetician, care se preocupă de automatizarea instalaţiilor tehnologice de producere şi utilizare a energiei electrice. Cartea mai poate interesa cadrele didactice şi studenţii facultăţilor de specialitate (automatică, electrotehnică, energetică ş. a.).

Fl. Stănciulescu

REFERATE

CZ 621.31 *Electrotehnică generală*

CZ 621.3.015.532

Giao, T. N. şi Tordan, T. B. **Tipuri de descărcări Corona în aer** (Modes of Corona Discharges in Air). În : IEEE Transaction Power Apparatus and Systems, vol. **PAS-87**, nr. 5, 1968, p. 1 207-1 214.

Funcţionarea echipamentelor şi sistemelor energetice la tensiuni înalte pune în discuţie problema descărcărilor Corona (după definiţia CEI, mai corect, descărcări parţiale), al căror efect este variat (pierderi, perturbaţii radio, efecte luminoase, străpungeri ale izolaţiei). Dacă în unele situaţii procesul descărcărilor parţiale trebuie atenuat, în altele, cum este cazul precipitării electrostatice (filtre sau instalaţii de vopsire) el este de dorit.

Descărcările Corona în aer există sub diferite forme de manifestare. Se analizează pe larg descărcările de la catod şi anod, pentru alimentarea electrozilor în curent continuu sau curent alternativ.

O mare importanţă pentru izolaţia externă prezintă descărcările cunoscute sub denumirea de „descărcări Trichel" care apar la alimentarea electrodului de atac la polaritate negativă. Frecvenţa descărcărilor şi amplitudinea lor au o lege de variaţie interesantă similară unor oscilaţii de relaxare.

Se prezintă mecanismul de formare a strimerilor insistîndu-se însă şi asupra unor aspecte concrete şi anume acelea privind pierderile datorită efectului Corona şi perturbaţiilor radio.

Fl. T.

CZ 621.3.015.532 ; 621.317.313

Salvage, B. şi Tapupere, O. **Măsurarea pulsurilor de curent datorită descărcărilor parţiale în cavităţile gazoase din dielectricii solizi** (Measurement of current pulses due to discharges in a gaseous cavity in solid dielectric). În : Electronics Letter vol. 4, nr. 24, 1968, p. 529—530.

Se prezintă rezultatele unor experimentări efectuate în scopul stabilirii mecanismului descărcărilor parţiale ce apar într-o cavitate de diametru 2 mm şi adîncime 0,13 mm, practicată în filme de polietilenă ; schema de izolaţie aleasă este destul de des întîlnită în construcţia cablurilor de înaltă tensiune. Alimentînd cu tensiune electrozii de cupru între care se plasează polietilena, se ridică curbele care dau variaţia curentului produs de descărcări funcţie de timp. Se obţin curbe de variaţie diferite care arată că mărimea şi durata pulsurilor de curent se schimbă în timp. Într-o cavitate nouă, imediat după începerea descărcărilor apar pulsuri rare dar de mare amplitudine, a căror durată este apropiată constantei de timp a circuitului de detecţie utilizat (aproximativ 2—3 ns). Prin aceleaşi experimentări se pune în evidenţă şi fenomenul de autostingere a descărcărilor.

Aparatura de măsurare utilizată, circuitul de detecţie şi osciloscopul de eşantionare, sînt descrise succint.

Fl. T.

CZ 621.311 *Instalaţii de alimentare cu energie electrică*

CZ 621.311.154 : 518.5 : 621.311.6

Theilsiefje, K. şi Wagner, H. **Procedee digitale de calcul pentru punerea în funcţionare a rezervei optime a circuitelor buclate** (Digitale Berechnungsverfahren für optimale Reservehaltung in Verbundbetrieb). În : ETZ-A **89**, nr. 17, 1968, p. 397—402, 9 fig., 2 tab., 7 ref. bibl.

După formularea problemei se dau o serie de definiţii ale principalelor mărimi care intervin pentru înţelegerea urmăririi fenomenelor discutate. Se descriu apoi procedeele de calcul pentru determinarea probabilităţii de diminuare a puterii, insistîndu-se asupra posibilităţii de autoreglare a circuitelor electrice. Consideraţiile se referă şi la variaţiile bruşte ale energiei transmise.

Studiul comportării unor circuite electrice buclate la variaţii lente sau bruşte ale puterii şi energiei transferate se face pe un model analogic cu elemente statice şi dinamice. Cu ajutorul a trei maşini se produc variaţii de sarcină şi se aduc corectări estimărilor făcute iniţial în funcţie de comportările circuitelor supuse experimentărilor. Astfel se indică procedee practice pentru autoreglarea circuitelor şi pentru soluţionarea avantajoasă din punct de vedere tehnico-economică a circuitelor supuse fluctuaţiei puterilor şi energiilor electrice transferate consumatorilor.

A.C

CZ 621.311.224.8.088.22

Umlauf, A. **Precizia de măsură a transformatoarelor de curent liniarizate în exploatarea staţionară** (Messgenauigkeit linearisierten Stromwandler im stationären Betrieb). În : ETZ-B, nr. 21, 1968, p. 613—616, 2 fotogr., 1 schemă, 5 graf.

După dezvoltarea ecuaţiei generale a erorilor din schema echivalentă se tratează cazul special al calculului erorilor pentru transformatoarele de curent liniarizate în serviciul staţionar şi în cazul unei încărcări pur ohmice. Este indicată o soluţie aproximativă. Rezultatul obţinut este utilizat la un sistem grafic, care serveşte la determinarea rapidă a erorii la o sarcină oarecare. Este descris apoi un model special de transformator de curent cu o eroare mică de defazaj în zona curentului nominal şi cu caracteristică liniară pentru supracurenţi, relatîndu-se şi despre măsurătorile efectuate pe doi simburi-model.

Necesitatea acestor transformatoare de curent liniarizate se datoreşte progresului rapid al releelor electronice în tehnica protecţiei reţelelor. Cerinţele care s-au pus acestor transformatoare, au fost ca comportarea lor de transformare să rămînă liniară chiar la valori egale cu $400 \times I$ normal. Lucrarea de faţă tratează comportarea transformatorului liniarizat pentru scurtcircuitele curenţilor nesimetrici. Cu ajutorul schemei echivalente se deduce în primul rînd ecuaţia generală a erorilor.

Din aceasta se dezvoltă apoi ecuaţia aproximativă a erorilor pentru sarcina pur ohmică, adică pentru cazul mai des întîlnit în tehnica modernă de protecţie a reţelelor prin relee electronice. Se determină apoi pe cale grafică erorile pentru sarcini oarecare. Se indică posibilitatea realizării unui trans-

formator de curent, care la valoarea nominală prezintă o eroare mică de defazaj, iar la curenți mari (supranominali) o caracteristică liniară.

Gh. C.

CZ 621.313 *Mașini electrice*

CZ 621.313.1.042.5

Laithwaite, E. R. **Cîteva aspecte ale mașinilor cu circuite magnetice deschise** (Some aspects of electrical machines with open magnetic circuits). În : Proceedings of the Institute of Electrical Engineers, nr. 9, 1968, p. 1 275-1 283, 14 fig., 19 ref. bibl.

Profesorul Laithwaite este unul dintre cei mai cunoscuți specialiști în domeniul mașinilor cu mișcare liniară. Cartea sa „Mașini de inducție pentru scopuri speciale" apărută în Newnes Londra 1966 prezenta tot ce se făcuse în acest domeniu în momentul respectiv.

În acest articol se reia problema mașinilor axiale de tip tubular cu rotor foaie, prezentînd o riguroasă analiză a fenomenelor prin folosirea ecuațiilor lui Maxwell pentru determinarea cîmpurilor și a forțelor ce apar pe diverse direcții.

Articolul se încheie cu o interesantă discuție asupra posibilității folosirii acestor mașini de inducție liniară pentru tracțiune, prezentîndu-se proiectele pentru construcția unor locomotive de mare viteză ale constructorilor americani și japonezi. Se întrevede posibilitatea alimentării în monofazat la 18 kHz, 100 kV a locomotivelor de 2,5 MVA.

În concluzie, autorul consideră aceste noi tipuri de mașini de mare viitor și crede că anii ce vor veni vor reprezenta o revoluție în domeniul tracțiunii electrice de mare viteză.

R.M.

CZ 621.313.322.016.352

Olive, D. W. **Simularea digitală a regimurilor tranzitorii ale mașinii sincrone** (Digital Simulation of Synchronous Machine Transients). Kinitsky, V. A. **Calcularea curenților la scurtcircuite interne ale mașinilor sincrone utilizînd un calculator numeric.** În : I. E. E. E. Transaction on Power Apparatus and Systems, nr. 8, 1968, p. 1669—1675, 8 ref. bibl. ; p. 1675—1679, 2 fig., 5 ref. bibl.

Construcția calculatoarelor numerice cu sute de mii de operații pe secundă a permis tratarea cu succes a problemelor de regimuri tranzitorii ale mașinilor sincrone. În primul articol D. W. Olive face o prezentare unitară a rezolvării ecuațiilor lui Park pentru mașina sincronă cuplată la sistemul de putere finită sau infinită. Pentru sistemele de putere finită, autorul propune o metodă nouă, transformînd, cu excepția mașinii în cauză, sistemul real într-un sistem Thévenin echivalent și tratînd întreaga problemă ca o suprapunere de probleme mai simple.

În al doilea articol, V. A. Kinitsky rezolvă un caz particular de avarie al mașinilor sincrone, scurtcircuitul monofazat statoric în diverse puncte ale înfășurării. Se prezintă un program de calcul pentru mașina IBM-7090, rezultatele obținute și o comparație cu încercările experimentale.

Diferențele între 8 — 28% dintre rezultatele calculate și cele obținute experimental sînt determinate nu de neprecizia metodei, ci de ipotezele simplificatoare introduse (cea mai grosolană neglijare a saturației).

R.M.

CZ 621.313.322 — 523.2.016.352

Dineley, J. L., Morris, A. J. și Preece, C. **Îmbunătățirea stabilității regimurilor tranzitorii, utilizînd comanda excitației generatoarelor sincrone.** În : I. E. E. E. Transactions on Power Apparatus and Systems, nr. 8, 1968, p. 1683—1686, 10 ref., bibl.

Menținerea stabilității unui generator sincron în funcționare în regim tranzitoriu sau staționar este una dintre problemele cele mai importante pentru cei ce exploatează mașinile sincrone. În acest articol, utilizînd un calculator numeric, se face un studiu detaliat de îmbunătățire a stabilității în regim tranzitoriu. Făcîndu-se o largă discuție asupra posibilităților de îmbunătățire a stabilității acționînd asupra excitației, se prezintă rezultatele teoretice pentru una sau două mașini funcționînd în paralel cu un sistem de putere infinită, conectate la el prin două transformatoare și două linii paralele. Se iau în considerare diverse tipuri de excitație, cu excitatoare clasică, amplidină sau puncte cu semiconductoare, prezentîndu-se diversele lor performanțe.

Problemele de stabilitate sînt tratate folosind metoda locului rădăcinilor, fie diagramele Nyquist inverse. Se ajunge la concluzia că un sistem optim de excitație este o combinație de sistem clasic cu excitatoare și o forțare cu o punte cu semiconductoare.

R.M.

CZ 621.314 *Transformarea energiei electrice*

CZ 621.314.214: 621.314.63: 621. 365.2

x x x Utilizarea tehnicii noi în domeniul semiconductoarelor pentru generatoare statice care alimentează instalații pentru tratamentul metalelor (Utilisation de tehniques nouvelles a semiconducteurs pour les générateurs statiques, alimentant des installations pour le traitement des métaux). In : Revue Générale de L'Électricité, tom 77, nr. 9, 1968, p. 815 — 842.

Pe cuprinsul a patru articole de specialitate se tratează următoarele probleme : încălzirea prin inducție la frecvență medie ; ondulator serie la frecvențe medii ; linii de cositorire electrolitică ; tehnici noi utilizate pentru generatoare statice alimentînd diferite procese a unei linii de cositorire electrolitică.

Principalele idei dezvoltate în cele patru lucrări se rezumă astfel :

1. G. Brahamsha. Încălzirea prin inducție la frecvență medie (Le chauffage par induction à moyenne fréquence), p. 815—818, 2 fig., 1 tab.

După prezentarea sistematică a relațiilor clasice privind încălzirea prin inducție se arată avantajele pe care le au sursele de alimentare, la care frecvența variază în concordanță cu caracteristicile cuptorului electric. Aceasta se realizează cu ajutorul unui ondulator serie cu tiristoare care înlesnește obținerea automată a puterii maxime și funcționează cu un randament ridicat.

2. F. Brichant. Ondulatorul serie la frecvențe joase (L'Onduleur série à moyennes fréquences), p. 819 — 825, 10 fig., 8 ref. bibl.

Se studiază funcționarea ondulatorului serie pentru frecvențele medii. Se descrie montajul format din tiristoare și diode. Se indică avantajele, posibilitățile de reglaj și domeniul de folosire a ondulatorului. Ondulatorul folosit în diverse măsurători practice are o putere de 150 kW.

3. R. Marquet. Linii de cositorire electrolitică (Les lignes d'étamage électrolytique), p. 826 — 835, 9 fig.

Se descriu părțile componente ale unei linii tehnologice destinate cositoririi pe cale electrolitică. Se arată condițiile ce se impun pentru realizarea unei exploatări corespunzătoare a liniilor de cositorire, și anume preciza deplasării benzii și viteza corespunzătoare a motorului de antrenare. În plus se are în vedere desfășurarea normală a procesului de cositorire pe cale electrolitică.

4.L. Beck. Tehnici noi folosite pentru generatoarele statice care alimentează diferite procese ale unei linii de cositorire electrolitică (Techniques nouvelles utilisées pour les générateurs statiques alimentant les differents traitements d'une ligne d'étamage électrolytique), p. 836 — 842, 7 fig.

Se arată îmbunătățirile obținute din punct de vedere al performanțelor în cazul exploatării generatoarelor statice cu tiristoare și amplificatoare analogice transistorizate, care alimentează linii destinate cositoririi electrolitice. Se compară noile montaje cu cele clasice cu diode și inductanțe saturate și se indică avantajele schemelor prevăzute cu tiristoare și amplificatoare transistorizate.

Materialele se încheie cu o serie de recomandări privind aplicarea practică a noilor scheme comentate.

A.C.

CZ 621.314.57 ; 621.385.3

Donskoi, A. V. ş.a. **Convertoare tiristorizate cu legarea în paralel a tiristoarelor şi circuitele lor de comandă** (Ventilnîie preobrazovateli a parallelnîm vkliuceniem tiristorov i schema upravleniia imi). În : Elecktrotermia, nr. 70, 1968, p. 22—23, 1 fig., 1 tab., 2 ref. bibl.

Crearea convertoarelor tiristorizate de putere pentru instalaţii electrotermice de 100—300 kW reclamă legarea în paralel a tiristoarelor. În cazul general, curenţii în ramurile paralele sînt repartizaţi neuniform, fapt determinat de existenţa unor diferenţe sensibile între parametrii tiristoarelor, chiar din aceeaşi serie. Acest fenomen are drept rezultat suprasolicitarea anumitor tiristoare, încălzirea lor şi, în consecinţă, micşorarea puterii convertoarelor.

În cazul legării tiristoarelor în paralel, acestea din urmă pot fi atît *acordate*, cît şi *neacordate*. La tiristoarele *acordate*, diferenţa dintre căderile de tensiune pe structura *pnpn*, în conducţie corespunzătoare curenţilor nominali şi maximali, nu trebuie să depăşească 0,02—0,05 V. La conectarea în paralel a tiristoarelor *acordate* este indicată, iar în cazul tiristoarelor neacordate este chiar absolut necesară egalizarea forţată a curenţilor din ramurile paralele. Pentru îndeplinirea acestui deziderat pot fi folosite, fie dispozitive magnetice de simetrizare (divizoare inductive de curent), fie rezistenţe de egalizare. În majoritatea cazurilor de interes practic este indicat să se folosească tiristoare acordate, care oricum simplifică operaţia de egalizare a curenţilor în ramurile paralele.

Autorii prezintă şi o metodă concretă de alegere a rezistenţelor de simetrizare. Problema utilizării dispozitivelor magnetice de simetrizare nu a fost abordată în articol. De asemenea, se prezintă un circuit complex de comandă pentru tiristoarele din ramurile paralele. Sînt comentate rezultatele experimentale şi sînt date unele indicaţii concrete prentru realizarea circuitelor de comandă.

A.S.

CZ 621.315 *Transmisia energiei electrice. Linii. Conductoare*

CZ 621.315.2 ; 061.3

Montmollin, G. **Tehnica modernă a cablurilor izolate cu hîrtie** (Tehnique moderne des câbles isolés au papier). În : Bull ASE **59**, nr. 22, 1968, p. 1 059—1 064,4 fig.

Cu toată dezvoltarea materialelor izolante sintetice de tipul clorurii de polivinil sau a polietilenei, hîrtia rămîne în electrotehnică unul dintre materialele de bază întrucît pînă în prezent nici o masă plastică uzuală nu a putut prezenta rezistenţe la temperatură ridicată. În construcţia cablurilor electrice, hîrtia impregnată are radial o rigiditate dielectrică ridicată, fapt ce face ca aceasta să fie utilizată în special în cazul tensiunilor înalte.

Se analizează pe larg caracteristicile hîrtiilor pentru cabluri insistîndu-se asupra porozităţii, rezistenţei mecanice, densităţii medii, pierderilor şi rigidităţii dielectrice ; se prezintă progresele obţinute în ultimii ani în domeniul materialelor şi tehnologiilor.

Diferitele construcţii de cabluri monofazate sau trifazate, cu ulei sau sub presiune internă sau externă de gaz sînt analizate pe larg. Introducerea materialelor de impregnare stabilizate, care nu se scurg la denivelări, constituie o soluţie în special pentru problemele de scurgere a materialelor din cablurile de înaltă tensiune.

Se menţionează tendinţa de simplificare a joncţiunilor ca şi generalizarea tehnologiilor mecanice de racordare ce nu folosesc încălzirea.

Fl. T.

CZ 621.315.2.015.532

Blodgett, R. D. şi Eigen. D. **Semnale Corona în cabluri — originea şi detectarea lor** (Cable Corona Signals — Their Origin and Detection). În : I.E.E.E. Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. **PAS—87**, nr. 6, 1968, p. 1 492—1 502, 13 fig., 20 ref.

Pentru a clasifica cîteva din mărimile ce pot da indicaţii asupra originii şi detecţiei descărcărilor parţiale din cabluri, s-au experimentat două tipuri de cabluri construite special, pentru acest scop. Unul din ele, cuprinzînd elemente generatoare de descărcări Corona a fost pus sub tensiune obţinîndu-se semnale care în majoritatea cazurilor au crescut cu tensiunea aplicată ; în alte cazuri, intensitatea descărcărilor s-a schimbat foarte puţin. Experimentările efectuate arată că mărimea semnalelor nu este legată printr-o relaţie explicită de curentul Corona.

Cel de-al doilea cablu a fost conectat cu un capăt la un analizor de frecvenţă, celălalt rămînînd deschis. Pentru a simula descărcările Coroana, frecvenţe de la 0 la 3 MHz au fost injectate printr-o capacitate de 10 pF. Mărimea răspunsului depinde de frecvenţă, de locul de unde se injectează impulsul şi lungimea totală a cablului.

Rezultatele obţinute în cele două serii de experimentări aduc noi contribuţii la dezvoltarea metodelor prezente de localizare şi detecţie a descărcărilor parţiale în cablurile de înaltă tensiune.

Fl.T.

CZ 621.314.63. ;621.385.3.026.444

Pîrkov, V. V. **Investigarea sensibilităţii tiristoarelor de putere la viteza de creştere a tensiunii directe** (Issledovania ciuvstvitelnosti silovîh tiristorov k skorosti narastania priamovo napriajenia). În : Elektricestvo, nr. 10, 1968, p. 48—51, 8 fig., 5 ref. bibl.

În diverse instalaţii în care se folosesc tiristoarele, ca de exemplu : invertoarele, modulatoarele, convertoarele de frecvenţă, precum şi circuitele de contactoare statice au loc salturi bruşte ale tensiunii anodice directe pe anodul tiristoarelor în timpul funcţionării acestor instalaţii.

În unele cazuri, cînd viteza de creştere a tensiunii directe pe tiristor trece de o valoare critică, are loc aşa-numitul efect dU/dt, adică se produce o deschidere nedorită, parazită a tiristoarelor.

Investigaţiile experimentale efectuate de autor cu tiristoare de putere de tipurile VKDUW—200, VKDU—150, UPVKL—100 şi UPVKL—50, au arătat că sensibilitatea tiristorului la viteza de creştere a tensiunii pozitive pe anodul său este legată de valoarea maximă a acesteia, la care funcţionează tiristorul. O dată cu creşterea temperaturii cristalului de siliciu, sensibilitatea tiristorului la viteza de creştere a tensiunii pe anodul său se măreşte substanţial. S-a constatat că sensibilitatea tiristorului la viteza de creştere a tensiunii anodice poate fi micşorată considerabil prin aplicarea unei negativări pe electrodul de comandă al tiristorului în decursul perioadei în care au loc variaţiile de tensiune pe anod, precum şi prin şuntarea porţiunii dintre electrodul de comandă şi catod printr-o rezistenţă pur ohmică.

Experienţele au arătat că existenţa unei polarizări iniţiale, atît negative, cît şi pozitive (de ordinul a 100—150 V) pe anod, micşorează sesizabil sensibilitatea tiristorului la efectul dU/dt.

A.S.

CZ 621.317 *Tehnica măsurilor electrice. Aparate de măsură*

CZ 621.317.326.0273 ; 621.383.6

Schmied, H. **Măsurarea impulsurilor de înaltă tensiune cu ajutorul celulelor Kerr** (Mesure d'impulsions de haute tension a l'aide de cellules de Kerr). În : Bull. ASE **59**, nr. 15, 1968 p. 679—683, 6 fig., 8 ref.

După o amplă analiză privind avantajele şi limitările pe care le prezintă divizoarele în tehnica măsurării la tensiuni înalte, se propune o nouă metodă de măsurare bazată pe aplicarea unor celule Kerr. Avantajul acestor celule constă în faptul că faţă de divizoarele de tensiune, ele permit o separare galvanică totală a circuitului de măsurare şi a celui de impuls pentru că „informaţia" este transmisă cu ajutorul luminii. De asemenea, efectul electrooptic Kerr rămîne liniar pînă la 500 MHz, iar celulele pot fi realizate cu rigidităţi dielectrice

deosebite, pînă la tensiuni de sute de kV; precizia de măsură, 1%.

Semnalul de măsură fiind transmis prin lumină, celula Kerr oferă posibilitatea de a măsura cu mare precizie şi fără perturbaţii (adesea chiar fără punere la pămînt), impulsuri de înaltă tensiune ai căror timpi de creştere ai frontului sînt de ordinul nanosecundelor.

Se prezintă principiile teoretice ale celulelor bazate pe efectul Kerr, cîţiva dielectrici lichizi ce pot fi utilizaţi în acest scop, modul de etalonare a sistemului de măsurare.

Fl. T.

CZ 621.317.333.015.532

Mole, G. **Măsurarea descărcărilor parţiale în izolaţia la tensiuni înalte** (Mesure des décharges internes dans l'isolement à haute tension). În: Bull. SRBE, tom **84**, nr. 3, 1968, p. 213—222, 25 fig. 10 ref.

Se prezintă o analiză a problemelor care trebuie să le aibă în vedere un tehnician ce îşi propune a efectua o măsurare corectă în domeniul descărcărilor parţiale. Astfel, pornind de la schemele fundamentale de măsură la care detecţia se face în bandă îngustă sau largă, se trece în continuare la o aprofundare a noţiunii de sensibilitate maximală a acestor scheme, a răspunsului tranzitoriu, a circuitelor discriminatorii sau a celor de etalonare.

Experimentările efectuate de autor îl conduc la ideea de a propune o clasificare a materialelor utilizate în reţelele de înaltă tensiune după rezistenţa lor la descărcări parţiale; cele trei grupe şi componenţa lor sînt date în lucrare.

Merită a fi subliniată tendinţa de stabilire a unor defectograme tipice; preocupări similare, dar mai complete şi extinse şi la domeniile izolaţiei externe, se regăsesc într-o lucrare tratînd descărcările parţiale apărută în Electrotehnica, 1969, nr. 1.

Fl. T.

CZ 621.319 *Aplicaţii industriale ale electrostaticii*

Z 621.319.53.072.33

Rodenald, A. **Declanşarea precisă a generatorului de unde de impuls la o tensiune de sarcină prescrisă.** (Le déclenchement précis de generateurs d'oundes de choc à une tension de charge affichée).
In: Bull. ASE **59**, nr. 20, 1968, p. 947—952, 9 fig., 6 ref.

Se prezintă fenomenul cunoscut în tehnica generatoarelor de impuls de tensiune şi anume amorsarea intempestivă a eclatoarelor de cuplaj, datorită particulelor de praf; supratensiunile create şi aplicate succesiv eclatoarelor, influenţează unda tensiunii de impuls produsă de generator. Dintre soluţiile ce pot conveni, funcţionarea eclatoarelor într-o atmosferă fără prag este cea mai simplă. Rezultatele măsurărilor arată că o funcţionare bună se obţine în cazul în care particulele nu depăşesc 2 μm în diametru, dispersia tensiunii de amorsare nedepăşind în acest caz, 3—10%, fapt ce permite o comandă simplă a eclatoarelor. Funcţionarea independentă a fiecărui eclator se poate face fie utilizînd impulsuri electrice fie lasere.

După o analiză a soluţiei, se prezintă cazul practic al unui generator de impuls proiectat pentru o tensiune de 4.2 MV, o energie de 420 kWs, 21 etaje şi o capacitate de impuls de 47,6 nF. Soluţia constructivă dată pentru eclatoare şi introducerea lor într-o carcasă izolantă transparentă a dat rezultate deosebite.

Fl. T.

CZ 621.319.51.015.51

Bins, D. F. **Controlul solicitării la configuraţii de electrozi sferă-sferă şi sferă-plan.** (Stress control for sphere-sphere and sphere-plane electrodes configurations). În: Proceedings IEE, vol. **15**, nr. 11, 1968, p. 1 713—1 716, 8 fig., 2 tab., 9 ref. bibl.

Configuraţiile de electrozi sferă-sferă sau sferă-placă se întîlnesc în multe construcţii de echipamente care funcţionează la tensiuni înalte încît predeterminarea tensiunilor de străpungere funcţie de elementele geometerice ale electrozilor şi distanţe de eclatare prezintă deosebit interes.

Se studiază cîmpul electric ce se stabileşte între electrozi, neuniformitatea lui depinzînd de raportul dintre distanţa de eclatare şi diametrul sferei. Străpungerea electrică se produce în bună concordanţă cu valorile deduse din formula lui Peek.

Pentru sistemul de electrozi sferă-plan, cel mai înalt gradient de potenţial a fost calculat cu ajutorul metodei imaginilor electrice pentru rapoarte: distanţe de eclatare/diametrul sferei, variabile. Măsurările efectuate s-au făcut cu erori mai mici de 2%.

Ca aplicaţie, se calculează şi gradientul de potenţial dintre trei sfere de diametru variabil, dar cu centrele lor pe aceeaşi axă, rezultînd că valoarea cea mai mare se obţine pentru anumite rapoarte ale distanţelor dintre centrele sferelor adiacente.

Fl. T.

CZ 621.791.7 *Sudarea şi tăierea electrică a metalelor*

CZ 621.791.76.03: 621.3.014.33

Wuich, W. **Avantajele şi utilizarea maşinilor moderne de sudură prin impulsuri cu condensator** (Vorteile und Anwendung moderner Kondensator—Impulsschweissmaschinen). În: Maschinenwelt—Elektrotechnik, nr. 10, 1968, p. 317—318, 2 fotografii.

Autorul descrie o maşină modernă, care — în cazul tablei subţiri — înlocuieşte cu succes sudura prin puncte. Deoarece la sudura prin puncte curentul din momentul sudării este foarte ridicat, toată instalaţia acestui sistem (conductele de alimentare, transformatorul) scumpeşte tehnologia.

La sistemul de sudură prin impuls curentul care trece prin conducte este relativ scăzut şi constant, încărcînd în permanenţă o baterie de condensatoare, care în momentul sudurii se descarcă în cîteva miimi de secundă prin electrozi. Un prim avantaj îl reprezintă secţiunea redusă a conductelor de alimentare şi o reducere a energiei consumate. Apoi, datorită timpului scurt de cîteva milisecunde, sînt reduse apreciabil şi pierderile de căldură, iar prin faptul că vecinătatea imediată a punctului de sudură rămîne relativ rece se pot suda şi table acoperite cu un strat nemetalic fără ca acest strat să fie alterat. Astfel, se pot suda pe table acoperite cu materiale sintetice ştifturi sau buloane cu ghivent. În plus cusăturile realizate prin sudarea cu impuls sînt — faţă de cusăturile prin puncte — aproape invizibile.

În continuare sînt redate amănuntele constructive şi de exploatare pentru două modele de maşini pentru sudarea cu impuls (300 Ws şi 1 000 Ws).

Articolul încheie, indicînd cîteva utilizări principale ale acestor maşini: încrucişări de sîrme, sudură cap la cap, legături prin puncte sudate, fixarea de ştifturi pe table.

Gh.C.

CZ 678 *Industria cauciucului şi a produselor similare*

CZ 678.84: 621:892

Foulon, A. **Uleiuri siliconice pentru ungerea cuzineţilor a arborilor şi a motoarelor** (Silikonöle schmieren Lager, Wellen und Motoren). În: Maschinenwelt—Elektrotechnik nr. 10, 1968, p. 313—314.

Este descris procedeul Rochow, prin care se prepară produsele sintetice numite siliconi. Caracteristica acestor produse noi este combinaţia Si—C, care imprimă apoi uleiurilor, răşinilor şi cauciucurilor siliconice însuşiri de natură anorganică, cum şi organică. Aceştia îşi găsesc o utilizare crescîndă, în special în tehnica mijloacelor de acţionare. Un avantaj principal al uleiurilor siliconice este faptul că — spre deosebire de uleiurile minerale — ele îşi menţin gradul de viscozitate aproape constant între temperaturile de —60°C ..... +200°C. În funcţie de compoziţia lor uleiurile siliconice sînt rezistente la oxidare, la temperaturi ridicate etc., ceea ce permite rezol-

varea celor mai dificile probleme de ungere, cînd în tehnica modernă sînt indispensabile produse de ungere care să reziste la −70°C şi la +250°C.

Se insistă asupra necesităţii ca suprafeţele în frecare (cuzineţii) să fie perfect curaţi, deoarece uleiurile siliconice nu suportă contactul cu uleiuri şi grăsimi organice. Sînt înşirate apoi diferite calităţi ale acestor uleiuri (cu adaos de grafit, cu proprietăţi de protecţie contra ruginii etc.), indicîndu-se pentru fiecare însuşirile specifice în exploatare. Se menţionează unsoarea *verde*, de exemplu, care suportă temperaturi de 300°C, fiind în acelaşi timp rezistentă la oxidare şi suportînd sarcini (presiuni) mari la un coeficient de frecare minimal, ceea ce o face utilizabilă la lanţurile din cuptoare, la pompe de lichide fierbinţi. Electromotoare din clasa H cu 1 500 rot min, la o temperatură ambiantă de 140°C funcţionează 8—9 săptămîni (faţă de 3 săptămîni la alte unsori) fără a necesita reungerea.

Autorul încheie descriind pe scurt compoziţia şi însuşirile altor cîteva uleiuri şi grăsimi siliconice, relevîndu-se proprietăţile de ungere şi comparîndu-le cu uleiurile minerale. Sînt enunţate, de asemenea, şi alte utilizări ale siliconului, cum ar fi izolaţia de motoare, la transformatoare şi la conductoare, precum şi spuma izolantă contra frigului, căldurii şi zgomotului.

G.C.

CRONICĂ

Expoziţia industrială elveţiană

La 21 aprilie 1969 s-a deschis prima expoziţie industrială elveţiană în România.

Expoziţia, una dintre cele mai mari realizate pînă în prezent de Elveţia în străinătate, a fost organizată de „Centrala elveţiană pentru promovarea comerţului din Zürich", în colaborare cu „Camera de comerţ a Republicii Socialiste România", în Pavilionul central de expoziţii din Bucureşti. Timp de 10 zile (21—30 aprilie 1969) expoziţia a fost vizitată şi admirată de un mare număr de persoane, majoritatea fiind specialişti din diverse sectoare de activitate (întreprinderi, institute de cercetare şi proiectare, economişti etc.).

Pe o suprafaţă de aproximativ 10.000 m² s-au prezentat peste 140 de întreprinderi şi firme exportatoare elveţiene cu cele mai reprezentative produse. Cu ajutorul prospectelor, fotografiilor şi informaţiilor primite de la specialiştii standurilor amenajate vizitatorii au putut căpăta o viziune mai clară asupra exponatelor, în special, şi asupra realizărilor, a nivelului de dezvoltare al industriei elveţiene, în general. Firme cu renume din domeniul industriei chimice, constructoare de maşini, farmaceutice, de ceasornicărie au participat cu un mare număr de exponate. Dintre acestea amintim doar cîteva în continuare.

În domeniul industriei construcţiilor de maşini s-au prezentat un bogat sortiment de maşini-unelte, scule şi dispozitive, ca: maşini de frezat (tipuri universale), maşini de filetat, de rectificat, maşini de găurit, prese, strunguri automate, strunguri de înaltă precizie, strung revolver etc.

Menţionăm prezentarea diferitelor tipuri de motoare Diesel ale firmei Sulzer care se bucură de o veche tradiţie în acest domeniu de fabricaţie şi cu care noi colaborăm încă din 1927 cînd s-a instalat, într-o fabrică românească, primul motor Diesel fabricat de Sulzer.

Larg reprezentată a fost industria electrotehnică şi electronică, prin produsele şi panourile prezentate de firmele producătoare de sisteme şi aparate de măsură şi control, sisteme de reglare, instrumente optice şi electronice pentru industrie şi laboratoarele de cercetări, maşini şi instalaţii pentru producerea şi distribuţia energiei electrice şi termice etc.

Astfel, au fost prezentate: cîteva dintre transformatoarele de măsură statice şi dinamice ale firmei Bauer Camille; disjunctoare de înaltă tensiune, relee de protecţie, convertizoare statice ale cunoscutei firme elveţiene Brown Boveri, materiale izolante, cabluri şi conductoare izolante, vopsele izolante ale firmelor Mikafil şi Isola-Werke; dispozitive de măsurare, instrumente electronice, compensatoare de precizie, punţi de măsurare a pierderilor şi capacităţilor în joasă şi înaltă tensiune, micromotoare, contoare şi emiţătoare de impulsuri (Landis şi Gyr), contoare de taxe telefonice etc., toate acestea fiind prezentate de alte diferite firme.

Amintim prezenţa în expoziţie şi a standurilor cu produse farmaceutice ale cunoscutei firme C. I. B. A. cu care noi întreţinem vechi relaţii comerciale.

Expoziţia a fost vizitată cu viu interes de publicul bucureştean putînd fi înscrisă cu succes în rîndul manifestărilor menite să dezvolte relaţiile economice şi schimburile comerciale între cele două ţări.

M.C.

A II-a Conferinţă a Electricienilor

În perioada 18—21 septembrie 1969, va avea loc în Bucureşti, a II-a Conferinţă a Electricienilor, organizată de Consiliul Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor, Ministerul industriei Construcţiilor de Maşini şi Ministerul Energiei Electrice.

Această manifestare tehnico-ştiinţifică, deosebit de importantă pentru industria electrotehnică şi energetică, va da prilejul unui bogat schimb de experienţă şi idei între specialiştii institutelor de cercetare, ai învăţămîntului superior, institutelor Academiei Republicii Socialiste România cum şi ai întreprinderilor, a căror activitate se axează pe aceste domenii.

Bazîndu-se pe o largă participare, atît din ţară cît şi din străinătate, comitetul de organizare al conferinţei îşi propune prezentarea unor comunicări şi referate cît mai reprezentative, de nivel tehnic superior, care să constituie nu numai rezultate ale unor cercetări efectuate, ci eventual, să aducă unele elemente de originalitate, să poată indica şi preciza anumite orientări în domeniile pe care le abordează conferinţa şi anume:

— transformatoare şi maşini electrice;
— aparate electrice;
— centrale electrice şi sisteme;
— tracţiune electrică;
— electronică;
— telecomunicaţii;
— automatică şi acţionări electrice;
— teorie, materiale şi măsuri în electrotehnică;
— fiabilitate, securitate şi calitate;
— utilizarea industrială a energiei electrice.

În cadrul acestor domenii se vor prezenta şi lucrări privind protecţia climatică a produselor şi instalaţiilor electrotehnice, cum şi probleme de aplicaţii ale calculatoarelor.

Comunicările propuse se vor putea prezenta fie în limba română, fie într-una din limbile străine de largă circulaţie asigurîndu-li-se traducerea în sălile în care se vor desfăşura lucrările conferinţei.

Programul ştiinţific al conferinţei va fi completat cu un program special de vizite, al căror obiectiv principal îl vor constitui fabrici electrotehnice din capitală şi eventual, din provincie; de asemenea, nu vor fi neglijate nici obiectivele de interes cultural, printre care menţionăm „Expoziţia realizărilor economiei naţionale — 1969".

Adresîndu-se unui mare număr de specialişti, „A II-a Conferinţă a Electricienilor" îmbrăţişează o vastă sferă de preocupări, cu implicaţii nu numai în cadrul industriilor electrotehnice şi energetice, ci şi în celelalte ramuri ale economiei naţionale a Republicii Socialiste România, pe care acestea le deservesc.

Comitetul de organizare

Expoziția industrială Cehoslovacă

În perioada 1 — 14 mai a. c. a fost organizată, la București, în pavilionul din parcul Herăstrău, expoziția industrială Cehoslovacă. Cu această ocazie s-au prezentat exponatele a 21 organizații ale comerțului exterior cehoslovac ocupînd o suprafață de 5400 m^2. Un bogat material documentar format din prospecte și fotografii, a fost pus la dispoziția vizitatorilor dornici de a cunoaște realizările industriale și aspecte din viața poporului cehoslovac.

Multe dintre produsele expuse sînt dintre cele pe care Republica Socialistă Cehoslovacă le livrează țării noastre.

Firme cunoscute nouă ca : Motokov, Skodaexport, Strojimport, Jablonex, Ferromet și altele au prezentat o gamă largă de produse, de la automobile, autobuze, camioane de mare tonaj, produse și instalații electrotehnice de curenți tari și curenți slabi, aparate de măsură electrice și electronice, magnetofoane, mașini de birou, mașini pentru industria textilă, pielăriei, produse ale industriei chimice, farmaceutice etc., la bijuterii, cristaluri etc.

În domeniul industriei electrotehnice, electronice și al producerii energiei electrice s-au prezentat produse, panouri și modele ale instalațiilor realizate de întreprinderile cehoslovace. Astfel : Skodaexport, cu care țara noastră a colaborat în realizarea centralelor electrice Luduș, Craiova și Argeș, a prezentat la expoziția din București instalații electrice din centralele termo și hidroenergetice.

Aalături de aparate de măsură electrice și electronice, aparate de precizie, organizația de comerț exterior Kovo a prezentat și lasere.

Intreprinderea pentru comerț exterior Merkuria a prezentat mai multe sortimente de produse, dintre care amintim 13 tipuri de contoare, un generator de frecvență etalon, instrumente de precizie optice și mecanice.

Expoziția industrială cehoslovacă organizată în acest an la București, a doua la noi în țară (prima a fost organizată în 1962), a fost vizitată cu mult interes de specialiști din toate sectoarele de activitate, realizîndu-se în felul acesta un larg schimb de experiență de ambele părți și întărirea relațiilor de colaborare economică și prietenie între cele două țări.

M. C.

Expoziția industrială Iugoslavă

În ziua de 15 mai a. c. s-a deschis, în capitală, în pavilioanele C și D din complexul de expoziții din Piața Scînteii, expoziția industrială iugoslavă.

Instalate, atît în interiorul celor două pavilioane, cît și în aer liber pe terenul care le înconjoară, în cele peste 35 de standuri care au totalizat produsele a foarte multe întreprinderi, pe o suprafață de 2500 m^2, s-a expus o gamă variată de produse aparținînd celor mai reprezentative ramuri ale industriei iugoslave : construcția de mașini, electrotehnica și electronica, metalurgia, industria chimică, textilă, alimentară etc.

Dintre numeroasele standuri existente în expoziție menționăm, în continuare, pe cele care conțin produse ale industriei construcțiilor de mașini, electrotehnice, și electronice.

Prin intermediul asociației „Mașinounion" Beograd, și-au expus produsele întreprinderile din industria constructoare de mașini, printre care : fabrica de mașini unelte „Prvomajska" ; fabrica de mașini „FAM" din Novi Sad ; fabrica de mașini-unelte „Progres" din Zrenjanin ; fabrica de turbine etc. Acestea au prezentat : strungul revolver BRT-50,mașina de frezat universală ALG-100 C, ferăstrăul cu bandă automat AT-20, presa universală PA-2 etc. Dintre fabricile constructoare de mașini a căror producție prezintă importanță și pentru industria electrotehnică menționăm : fabrica de turbine cu abur, motoare diesel și pompe „Jugoturbina", care a expus elemente de motor diesel pentru nave, macheta unui agregat diesel de 500 kW ; fabrica de motoare și autovehicule „Torpedo", care a prezentat motoare diesel, agregat diesel pentru pompe, agregat diesel electric automat etc.

Printre exponatele din aer liber au atras atenția, în mod deosebit produsele firmei „Zavodi Crevna Zastava" : autoturismele Zastva 750 și 1300 și autocamionul Zastava 620 B de 2 t.

Industria electrotehnică, la fel de bogat reprezentată, a fost prezentă în expoziție prin produsele expuse de următoarele firme : „Energoinvest" — întreprindere de proiectare și execuție a instalațiilor energetice și industriale care s-a prezentat cu o gamă largă de produse, ca : transformatoare, întreruptoare, vane, ventile etc. : fabrica de cabluri „ELKA" din Zagreb a expus diferite tipuri de cabluri și conductoare ; fabrica „ELMOS" cu mai multe tipuri de contactoare și separatoare ; fabrica de material electroizolant „11 Oktomvri" cu materiale izolante.

Ramura producătoare de aparataj electrocasnic a fost reprezentată aproape în întregime printr-un mare număr de articole de uz casnic și anume : frigidere de diferite capacități, mașini de spălat rufe, mașini de gătit electrice și combinate, reșouri electrice, aspiratoare de praf, termostate, grătare electrice etc.

Electronica și automatica jugoslavă prezentă în expoziție prin produsele expuse de întreprinderile : „Industria electronică EI sau „ELRAD" și anume : televizoare, aparate de radio, antene, transistoare, convertizoare UHF, tuburi radiorezistențe metalice, condensatoare electrolitice, echipamen-electric auto. Fabrica de instrumente de precizie, echipament și instalații automatizate s-a prezentat cu ampermetre, manometre, vitezometre, sistem cu reglare automată pentru sudarea autogenă etc. Toate produsele la care ne-am referit au atras atenția vizitatorilor printr-o frumoasă formă de prezentare și finisare.

Pe lîngă aparatele de uz casnic și autoturisme care au plăcut îndeosebi numerosului public bucureștean, privirea s-a oprit asupra produselor textile, confecții, tricotaje, articole de marochinărie și încălțăminte, precum și asupra produselor cosmetice.

Expoziția industrială iugoslavă organizată în această lună la noi în țară oglindește posibilitățile actuale ale industriei și economiei acestei țări. Fiind a doua la noi în țară, după un interval de cinci ani, prezintă progresele realizate de Iugoslavia din 1964 (cînd a avut loc prima expoziție iugoslavă la București) pînă în prezent, deosebirea dintre gama exponatelor la cele două expoziții reflectînd acest lucru.

Expoziția din acest an poate fi considerată o manifestare care răspunde interesului reciproc pentru o mai bună cunoaștere a producției industriale a ambelor țări, în vederea stimulării permanente a schimburilor comerciale bilaterale, a colaborării și cooperării economice și tehnico-științifice între cele două țări prietene.

M. C.

TREI ÎNTREBĂRI ADRESATE CONDUCĂTORILOR CABINETELOR DE PROTECŢIA MUNCII DIN INTREPRINDERILE M.I.C.M.

Protecţia muncii, prin lege, este o problemă de stat şi face parte integrantă din procesul de muncă. Principiile acestea sînt izvorîte din respectul faţă de om, din necesitatea de a menţine integral capacitatea lui de muncă, precum şi din punctul de vedere al implicaţiilor şi efectelor economico-sociale ce le are cu ceilalţi factori ai producţiei.

Pentru respectarea acestor principii, un rol important îl au iniţiativele Cabinetelor de protecţie a muncii din întreprinderi şi opinia de masă, creată de acestea prin toate mijloacele instructiv-educative şi de propagandă.

În acest sens DSCM — Serviciul protecţia muncii — şi redacţia revistei adresează acestora următoarele întrebări :

1. **Ce intenţionaţi să întreprindeţi în acest an în cadrul Cabinetului de protecţie a muncii pentru a înlătura cauzele accidentelor de muncă, îmbolnăvirilor profesionale şi pentru a preveni nerespectarea igienii industriale.**

2. **Pe ce căi consideraţi că poate fi perfecţionată munca Cabinetelor de protecţie a muncii din întreprinderi.**

3. **Cum se concretizează preocuparea de a statornici un stil şi metode de muncă eficiente în activitatea Cabinetului de protecţie a muncii.**

Răspunsurile conducătorilor Cabinetelor vor fi studiate şi publicate în revistă, iar metodele şi stilul nou de muncă vor fi generalizate şi stimulate.

Aşteptăm răspunsul pe adresa : str. Ion Ghica nr. 3, Sectorul 4, Bucureşti, O. D.P.T. — M. I. C. M. Redacţia revistelor tehnice.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. şt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. şt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA ; ing. V. CIOFU ; prof. dr. doc. şt. tehn. V. CORLĂŢEANU ; ing. ŞT. GROSU ; prof. dr. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE ; conf. ing. D. F. LĂZĂROIU ; ing. M. OPASCHI ; ing. A. POPA ; prof. ing. CRISTIANA POPESCU ; ing. VL. POPOVICI ; acad. prof. dr. doc. şt. tehn. ing. R. RĂDULEŢ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista "ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare şi publicaţii tehnice al M.I.C.M., cu sediul în Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon redactor şef: 14.90.27. Redacţia: Bucureşti, str. Ion Ghica, nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacţie: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon: 16.21.70 interior 173. Instituţiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 40060300 Banca Naţională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, Bucureşti. Tarif pentru instituţii şi întreprinderi: lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informaţia", Bucureşti, str. Brezoianu, nr. 23 — 25, c. 3250. *Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 10/10275/1968*

SOMMAIRE

CD 621.3.015.4 : 621.3.018.33
Popescu, I. et *Simion, Al.* : **Certains aspects de la résonance dans les circuits électriques non-linéaires série.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 165–169

On traite sous une forme unitaire, le circuit électrique dans lequel le résistor, le condensateur et la bobine ont à tour de rôle, la caractéristique V — A non-linéaire.

Les caractéristiques de fréquence du circuit présentent, grâce à la non-linéarité des éléments, des domaines stables et non-stables, qui mènent à de nombreuses applications pratiques.

CD 621.313.37.012.1 : 621.314.242.011.1
Nedelcu, V.N. : **Une nouvelle théorie du moteur réactif.**
Electrotehnica **17**, no. 5, mai 1969, p 170–178

Dans cet ouvrage on spécifie que le processus de conversion dans les converteurs monophasés diffère complètement du processus dans les converteurs triphasés. Dans les converteurs monophasés le transfert de puissance active s'effectue par l'intermède de l'harmonique temporaire de courant, de deuxième ordre, grâce à laquelle l'onde du courant résultant est déformée. Dans les converteurs triphasés, on met en évidence „l'induction cyclique complexe" grâce à laquelle le sinor de courant est déphasé par rapport au sinor du flux magnétique, déphasage qui asssure le transfert d'énergie. Dans ce converteur, le système triphasé de courants est symétrique et sinusoïdal. On introduit les notions de „cycle électromécanique réactif monophasé" et de „cycle électromécanique triphasé".

CD 621. 314. 2. 027. 81: 621. 3. 014. 3
Zickman, M. : **L'opportunité de la réalisation des transformateurs réducteurs (descendants) de la série 110 kV, ayant la tension de court-circuit accrue.**
Electrotehnica **17**, no. 5, mai 1969, p 179–186

On présente les situations dans lesquelles la réalisation des transformateurs réducteurs, de la série 110 kV, à tension de court-circuit accrue est opportune, ainsi que les effets économiques de l'utilisation de cette sorte d'éléments de transformateurs sur les stations de transformation réductrices de 110 kV.

CD 621.3.066.6 : 546.78 : 621.318.512 : 629.113.
Pîrligras Ecaterina, Minea Silvia et *Antohi, C.* : **L'étude du comportement des contacts en wolfram destinés aux relais régulateurs auto, en présence des substances organiques, dans des milieux à humidité élevée.**
Electrotehnica **17**, no. 5, mai 1969, p. 186–190

Certains matériaux organiques qui se trouvent à la surface des contacts en wolfram forment, en présence de l'humidité, une croûte qui possède des propriétés isolantes, ce qui mène à l'interruption des circuits dans les installations électriques. Les travaux effectués par les auteurs ont eu pour but d'établir le degré d'agressivité, sur les contacts en wolfram, des différents matériaux organiques utilisés lors de la construction des relais régulateurs pour autovéhicules. On a étudié : des matériaux conducteurs isolés et des isolations pour bobines, des matériaux destinés à impregner les bobines, des matériaux isolants support, des matériaux d'étanchement.

CD 621.372.51.537.311.33
Cristea, P. et *Măgureanu, R.* : **Traducteurs voltaïques de position et de vitesse qui utilisent des couches minces semi-conductrices anisotropes pour la commande des machines et des installations électriques.**
Electrotehnica **17**, no. 5, mai 1969 p. 190–193

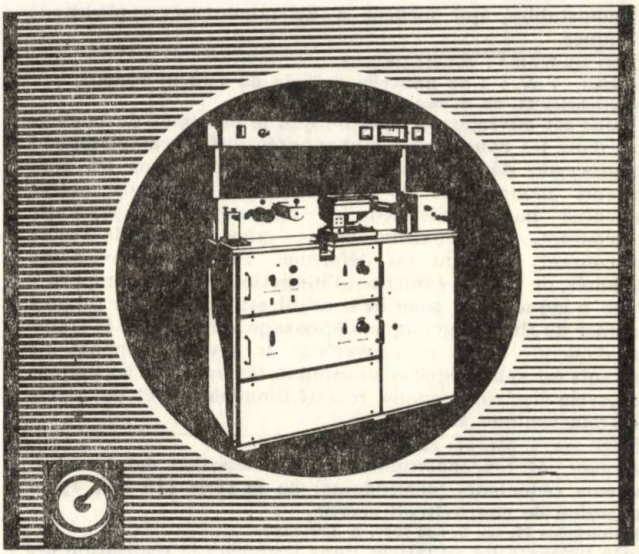
On propose l'utilisation des couches minces semi-conductrices anisotropes en tellure, pour la réalisation des traducteurs de position pour les mouvements de rotaţion ou de translation. On présente la réalisation d'un tachymètre pour la mesure de la vitesse des micromoteurs électriques, d'un systéme de commande des machines à commutation électrique et d'un traducteur de position pour les mouvements linéaires. La simplicité, le prix de revient réduit, la grande rapidité de la réponse recomandent ces traducteurs pour l'usage industriel, ayant pour élément d'excitation la lumière dans le spectre visible, ou bien des radiations infrarouges.

DC 621.385.2 : 539.1.074
Poenaru, D. : **Le régime de court-circuit des détecteurs de radiations nucléaires à semi-conducteurs.**
Electrotehnica **17**, nr. 5, mai 1969, p. 193–196

On présente la méthode de calcul pour la détermination de la forme des impulsions de courant débitées par les détecteurs semi-conducteurs de radiations, en régime de court-circuit.

COMPTES-RENDUS 197–198
RÉFÉRATS 198–202
CHRONIQUE 202–204

Sîrme foarte subțiri
din wolfram sau molibden
cu trefilări variate la cald



O nouă posibilitate pentru acoperirea economică a cerințelor crescînde în industria electrotehnică.

Cu ajutorul mașinii noastre de trefilare ultrafină și variată G 11—12 combinată cu cunoscuta mașină de trefilare UDZWGW VIII/8.

Cea mai modernă tehnologie actuală cu cel mai mare efect de raționalizare.

Noua mașină lucrează după principiul glisant cu șase dimensiuni de trefilare, pentru trefilarea la cald cu diametrele cuprinse între 0,065 și 0,020 mm. Față de vechiul sistem cu operațiuni separate, acestea reprezintă o sporire a producției de 2—3 ori. Trebuie luată în considerare economia de spațiu ce se realizează în acest fel și reducerea numărului de brațe de muncă necesare. Prin montarea în serie a acestor mașini se realizează asemenea avantaje.

Perfecționați și dv. fabricația celor mai fine sîrme de wolfram și molibden, pentru a corespunde celor mai noi cerințe ale tehnicii. Pentru informații detaliate vă rugăm să vă adresați cu indicativul ku 40/69.

VEB Spezialmaschinenbau Gornsdorf DDR — 9163 Gornsdorf /Erzgeb.

Informații în țară :
Ambasada R.D.G. din
Republica Socialistă România
Secția Invest Export
Calea Dorobanților nr. 14
București

INVEST EXPORT

Volkseigener Aussenhandelsbetrieb
der Deutschen Demokratischen
Republik DDR — 108 Berlin,
Taubenstrasse 7—9
Telegramm : DIAINVESTA
Telex : 011 2695 diai dd
Republica Democrată Germană

Publicom

CZ 621.3 ELECTROTEHNICĂ GENERALĂ

CZ 621.3.001.57
Klittich, M. **Simularea utilizată pentru proiectarea sistemelor electromecanice.** In: Elektrotech. Z. (ETZ—B) **20**, nr. 21, 18 oct 1968, p. 601—607, 7 fig., 7 ref. bibl.

CZ 621.3.044.3.531.741.621.313.32
Kittel, A. şi *Klinger, K.* **Măsurarea continuă a unghiului roţii polare în maşinile sinerone, cu ajutorul unui traductor capacitiv.** In: Elektrie **22**, nr. 12, dec 1968, p. 503—504, 5 fig.

CZ 621. 313 MAŞINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU ŞI ALTERNATIV. GENERATOARE-MOTOARE.

CZ 621.313. 17
Timmel, H. **Motorul liniar cu cîmp mobil o formă specială remarcabilă a motorului de inducţie.** In: Elektrie **22**, nr. 10, oct 1968, p. 398—403, 12 fig., 12 ref. bibl.

CZ 621.313. 322—82
Meyer, E. **Puterile limită ale alternatoarelor sincrone cu mare viteză pentru centralele hidraulice.** In: Revue Brown Boveri **55**, nr. 4/5 1968, p. 201—208, 9 fig.

CZ 621.313.33.001.6
Kröber, D. **Tendinţe de dezvoltare în construcţia maşinilor electrice ţinînd seama de bobinarea automată a statorului** In: Elektrie **22**, nr. 8, aug 1968, p. 325—327, 3 fig.

CZ 621.314. TRANSFORMAREA ENERGIEI ELECTRICE. TRANSFORMATOARE CONVERTIZOARE. REDRESOARE. COMUTATRICE.

CZ 621.314.22.08: 621.315.661.97
Noi îmbunătăţiri aduse la construcţia transformatoarelor izolate cu răşini sintetice. In: Revue Brown Boveri **55**, nr. 4/5 1968, p. 229 — 233, 7 fig.

CZ 621.314.26: 621.382: 621.365.5
Gabler, K. şi *Wallstein, D.* **Convertizoare de frecvenţă pentru încălzire şi fuziune prin inducţie, echipate cu elemente de electronică industrială.** In: Revue Brown Boverni **55**, nr. 3, 1968, p. 130—137, 10 fig., 6 ref. bibl.

CZ 621.314.57
Nopirakowski, I. şi *Zinner, J.* **Invertori cu tiristoare cu comutaţie în contratimp.** In: Elektrie **22**, nr. 10, oct 1968, p. 398—402, 12 fig., 12 ref. bibl.

CZ 621.314.57/58
Krause, J. **Calculul proceselor care au loc la comutarea forţată în invertori cu comutaţie secvenţială de fază.** In: Elektrie **22**, nr. 9, sept 1968, p. 373—376, 7 fig., 3 tab., 3 ref. bibl.

CZ 621.314.57: 621.313.323/33
Krug, H. **Un convertor de freevenţă pentru transformarea tensiunii alternative monofazată într-o tensiune alternativă trifazată pentru alimentarea maşinilor cu cîmp învîrtitor.** In: Elektrie **22**, nr. 12, dec 1968, p. 498—500, 7 fig., 3 ref. bibl.

CZ 621.314.6.064.1
Jahn, G. **Instalaţie model pentru determinarea curenţilor de scurtcircuit în convertizoare de curent.** In: Elektrie **22**, nr. 8. aug 1968, p. 311—314, 6 fig., 5 ref. bibl.

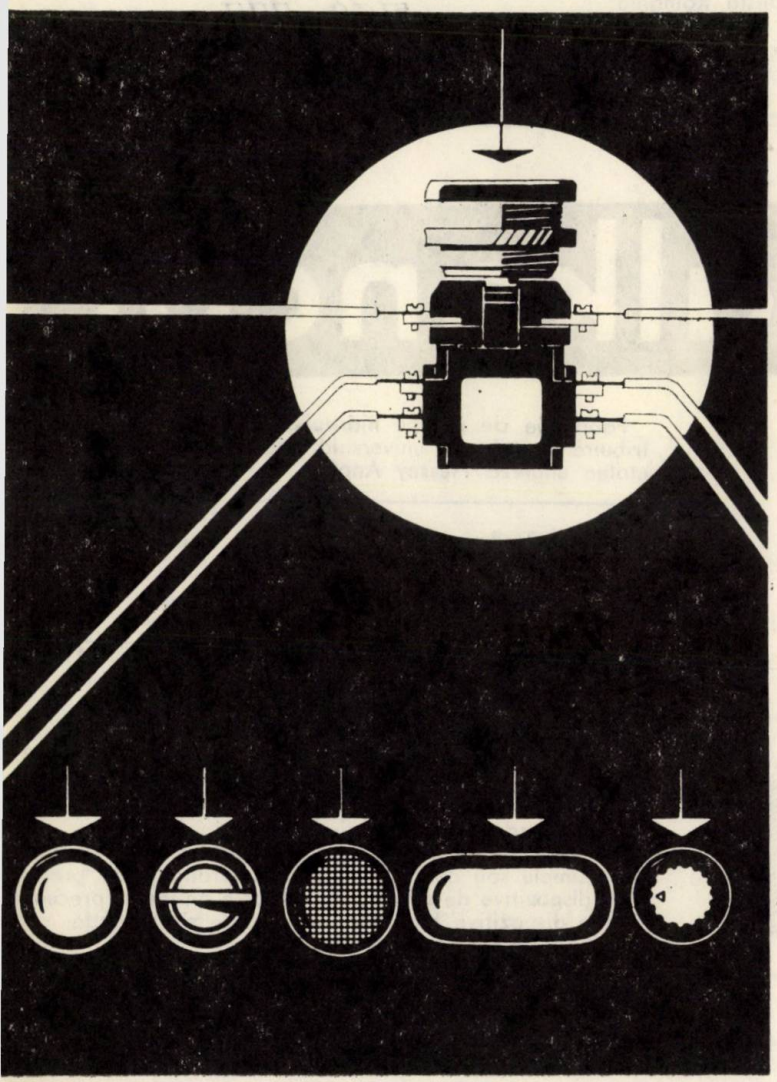
CZ 621.315. TRANSMISIA ENERGIEI ELECTRICE. LINII AERIENE. CABLE. CONDUCTOARE. MATERIALE IZOLANTE. MATERIALE DE INSTALAŢII.

CZ 621.315.051.024: 621.316.93.621.3.048.
Sarbach, E. **Despre coordonarea izolaţiei din instalaţiile de transmisia energiei prin curent continuu de înaltă tensiune.** In: Revue Brown Boveri **55**, nr. 7, 1968, p. 344—351, 6 fig., 3 ref. bibl.

CZ 621.315.614.001.5
Eckelmann, P. **Comportarea termică în cîmp electric a izolatoarelor din hîrtie umedă.** In: Elektrie **22**, nr. 7, iul 1968, p. 282—286, 6 fig., 5 ref, bibl.

CZ 621.315.62.001.4
Weinmann, T. **Contribuţii la normalizarea încercărilor făcute asupra straturilor de poluţie în izolatorii de înaltă tensiune.** In: Revue Brown Boveri **55**, nr. 7, 1968, p. 351—359, 9 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.315.62.001.5
Streubel, H. **Conturnarea izolatorilor udaţi de ploaie la comutarea tensiunii.** In: Elektrie **22**, nr. 9, oct 1968, p. 358—359, 2 fig.



Aparataj de comandă cu acţionare manuală

Componente ale instalaţiilor de producţie automatizată.

În domeniul aparatelor de comandă cu acţionare manuală noi fabricăm contactoare — tacheţi, elemente de contact, de anclanşare, de semnalizare şi piese componente ale acestora. Programul nostru privitor la aparatajul de comandă se distinge prin construcţie robustă, siguranţa în funcţionare, dimensiuni reduse şi forme constructive moderne (execuţie în forme rotunde sau pătrate). Noi am dezvoltat toată seria aparatelor de comandă după sistemul subansamblurilor normalizate. Utilizarea lor oferă deci posibilităţi comode de extindere precum şi multiple variante de conectare.

Vă stăm cu plăcere la dispoziţie pentru informaţii.
Solicitaţi-ne, vă rugăm, prospecte corespunzătoare.
Informaţii privind exportul vă furnizează Secţia de politică comercială: Elektrotechnik, de pe lîngă Ambasada R.D.G. în Republica Socialistă România.
Calea Dorobanţilor 14 — Bucureşti.

Exportator:

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR 104 BERLIN

ELEKTRO-APPARATE-WERKE DER DDR

EAW

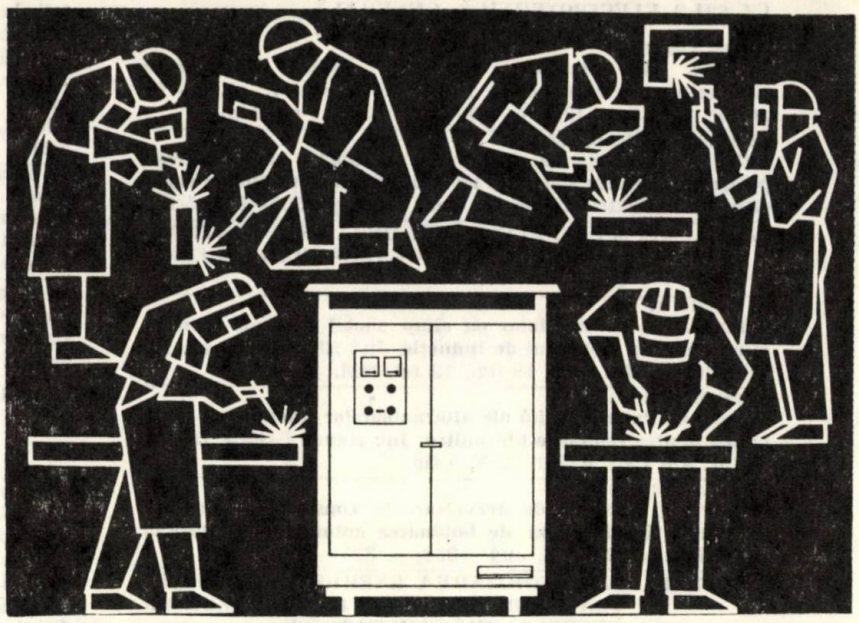
Republica Democrată Germană

La mai mulţi sudori, o sursă comună de curent

Iată o rezolvare economică pentru locuri de muncă-cheie, în cazul unei sudări la numeroase puncte, folosind în special o durată de conectare redusă. Pentru alimentarea cu curent a mai multor aparate de sudat, redresorul de sudare Kjellberg KGM 1200 asigură curentul de sudare în raport cu mărimea electrozilor pînă la 22 locuri de muncă. Acest redresor este prevăzut cu diode de siliciu. Capacitatea de sudare este de 1 200 A în regim continuu. Pentru reglarea curentului de sudare, fiecare loc de muncă este prevăzut cu o rezistenţă reglabilă. Redresorul corespunde tuturor cerinţelor impuse unei instalaţii de înaltă capacitate pentru alimentarea mai multor locuri de sudare.

În plus, este caracterizat printr-o calitate deosebită a sudurilor, nivel scăzut de zgomot, randament ridicat şi întreţinere uşoară.

Informaţi-vă deci asupra noului nostru redresor de sudare la mai multe puncte de lucru.



KJELLBERG ELEKTROGEN & MASCHINEN GMBH IN VERSO. DDR 798 FINSTERWALDE DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

Exportator :

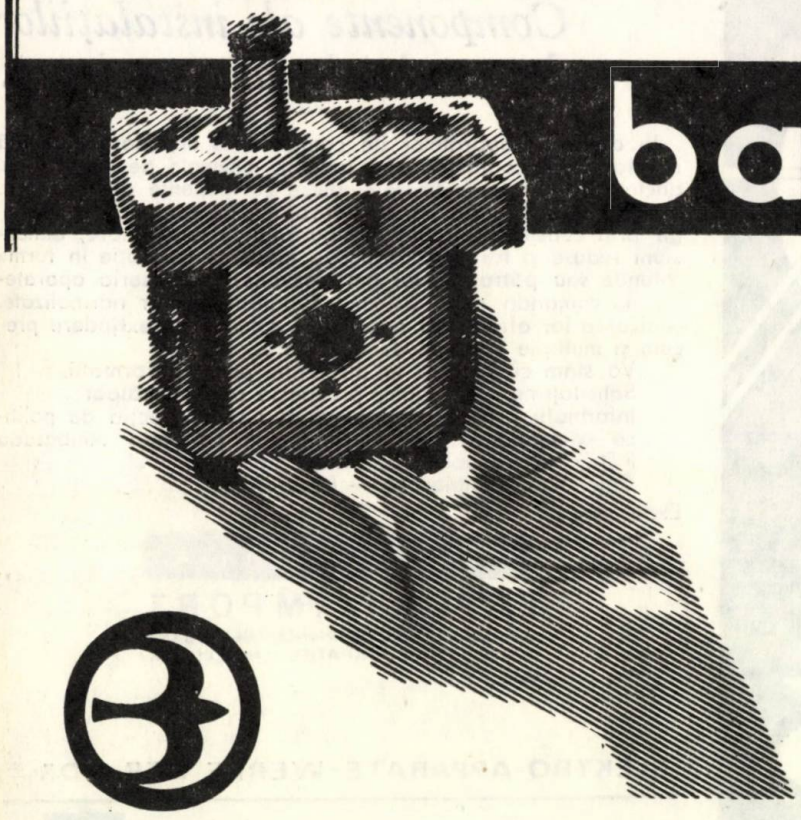
Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK-DDR 104 BERLIN CHAUSSEESTRASSE 111/112

Republica Democrată Germană

Cei interesaţi se pot adresa la :
Biroul tehnic — comercial DIA Elektrotechnik —
Secţia Comercială de pe lîngă Ambasada R.D.G.
din Republica Socialistă România
Calea Dorobanţilor, nr. 14, Bucureşti.

Kjellberg
FINSTERWALDE

balkancar



Fabricaţie de pompe hidraulice cu angrenaje şi distribuire cu utilizare universală după licenţă de la Societatea engleză Plessey Anglia

Grupa	Tipul	P kg/cm²	Q l/min la 1000 t/min	n t/min	Greutatea kg
β	027–096	175	1,22– 4,36	3 500	0,8
β	10– 42	175	4,5 – 19,0	3 500	2
γ	43– 94	175	19,5 – 42,6	2 500	4
γ	95–165	150	43 – 75	2 000	8
γ	170–325	150	77 –147	1 750	26

Pompele hidraulice cu angrenaje Balkancar sînt deosebit de indicate pentru antrenarea hidraulică a maşinilor-agricole, de întreţinere, din lucrările de drumuri, lucrări în mine precum şi în domeniul construcţiilor navale şi în metalurgie, pentru automatizarea şi mecanizarea procedeelor tehnologice diverse.

BALKANCAR produce de asemenea filtre, verine (cu efect simplu sau dublu, supapa de siguranţă şi de preaplin, dispozitive de strangulare, clapete antiretur, precum şi alte dispozitive hidraulice de reglare şi comandă. Informaţii detaliate şi oferte de la :

BALKANCARIMPEX Bulgaria Sofia 5, Str. Aksakov telefon 88-53-21 telex 386

MĂSURAREA PRECISĂ A TEMPERATURILOR

o cerință primordială a tehnologiilor moderne

Sortimentul nostru variat vă oferă posibilitatea alegerii celui mai adecvat detector de temperatură, care să corespundă întrutotul scopurilor dv.

DETECTOARELE NOASTRE ELECTRICE DE TEMPERATURĂ
ASIGURĂ MĂSURAREA PRECISĂ ÎN INTERVALUL

—200.....+2000°C!

PRODUCEM CURENT:

TERMOCUPLURI — cu unul sau două elemente sensibile montate în teacă comună

tip PR (10%) pentru intervalul 0...1300 °C
tip PR (13%) pentru intervalul 0...1400 °C
tip CA pentru intervalul 0...1000 °C
tip Fe-Const pentru intervalul 0... 450 °C

TERMOMETRE CU REZISTENȚĂ ELECTRICĂ — cu unul sau două elemente sensibile montate în teacă comună

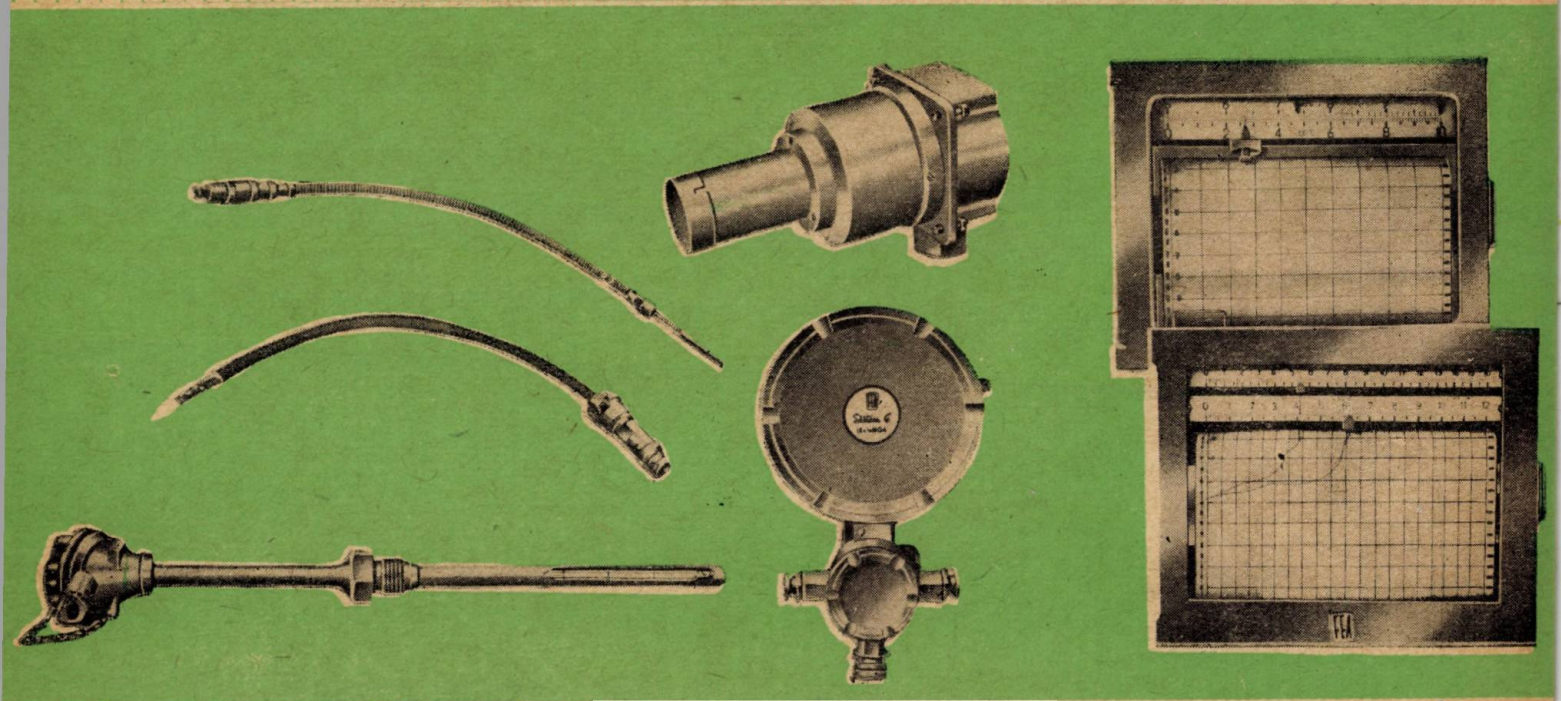
tip Pt 46, Pt 50, Pt 100
pentru intervalul — 200... + 500 °C
tip Cu 100
pentru intervalul 0... + 100 °C

PIROMETRE DE RADIAȚIE TOTALĂ — cu unul sau două elemente sensibile de tip K 42 pentru intervalul + 600.. + 2000 °C

IMPORTANT! Detectoarele noastre de temperatură se pot folosi împreună cu aparatura uzuală de măsurat: milivoltmetre și, respectiv, logometre. Pentru măsurări de precizie vă recomandăm folosirea compensatoarelor și, respectiv a punților noastre automate, care pe lîngă posibilitatea înregistrării și a indicării, oferă și avantajul efectuării unor operațiuni suplimentare ca: reglări bipoziționale, comenzi de semnalizare etc...

Utilizate împreună cu adaptoarele din seria ELT 160 se obține convertirea temperaturilor în semnale unificate (2...10 mA c.c.), permițînd astfel soluționarea economică a instalațiilor de măsurare, comandare sau reglare, prin folosirea elementelor de automatizare din sistemul electronic unificat e produse de noi

RUGĂM CONSULTAȚI CATALOGUL NOSTRU! PENTRU REZOLVAREA PROBLEMELOR DV DE MĂSURAREA TEMPERATURILOR VĂ ASIGURĂM COLABORAREA PROMPTĂ ȘI EFICIENTĂ A SPECIALISTILOR NOȘTRI!



FEA
BUCUREȘTI

FABRICA DE ELEMENTE PENTRU AUTOMATIZĂRI
CALEA FLOREASCA 242—244, TELEFON 34 26 60

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

DIN BUCUREȘTI. — BD. 1 VLADIMIRESCU 45-47 — TELEFON 31 41.00

Электротехнический Научно-исследовательский и Проектный Институт.

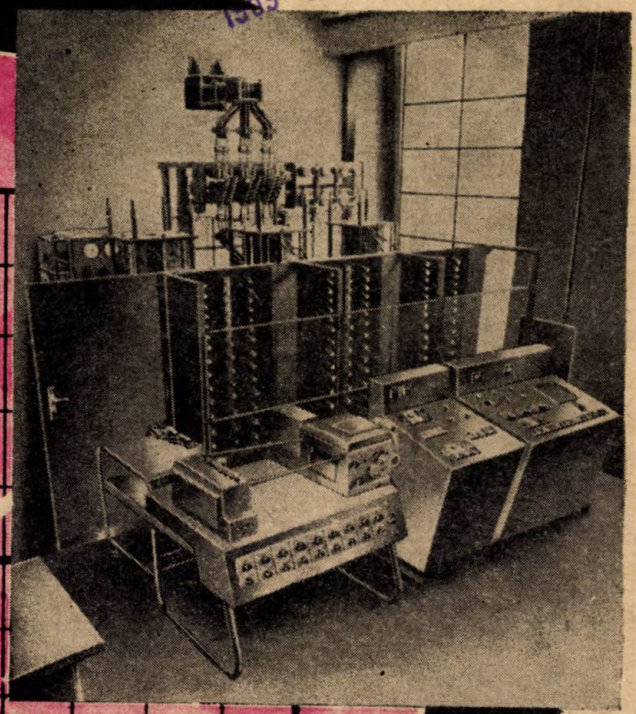
Electrical Engineering and Research Institute

Forschungs-und Projectierungs-Institut für die Elektroindustrie

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Électrotechnique

ICPE

1969 SEP 23



ICPE

Primește comenzi de cercetare și proiectare, cu profil electrotehnic.

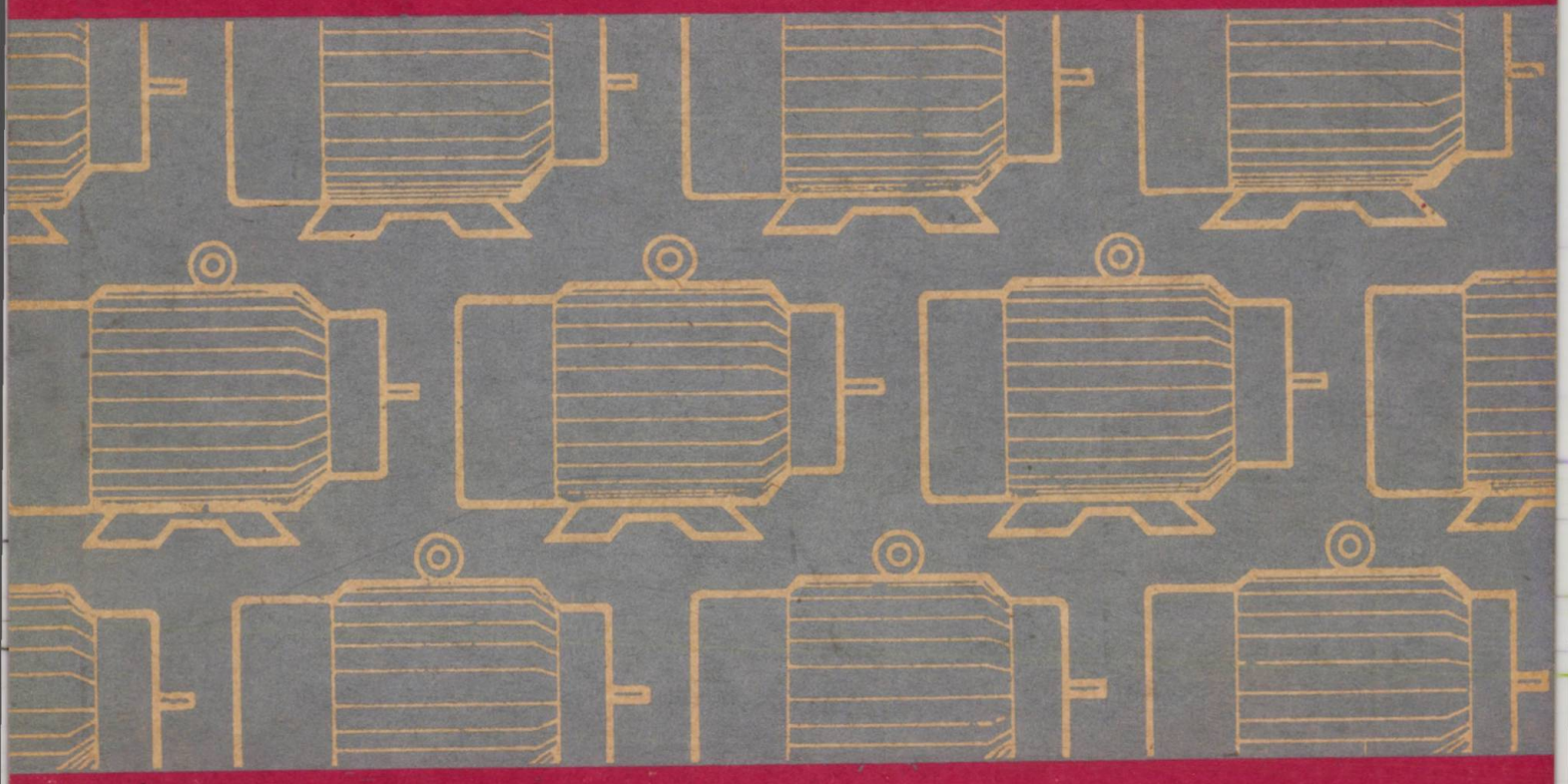
Institutul execută studii, încercări, omologări și prototipuri din domeniul mașinilor și transformatoarelor electrice, aparatelor de joasă și înaltă tensiune, acționărilor electrice, climatizării produselor industriale, calculelor cu mașini electronice, materialelor electrotehnice.

E 2040

R

ELECTROTEHNICA

RETURNALVA



ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 17 • Nr. 6 • IUNIE 1969

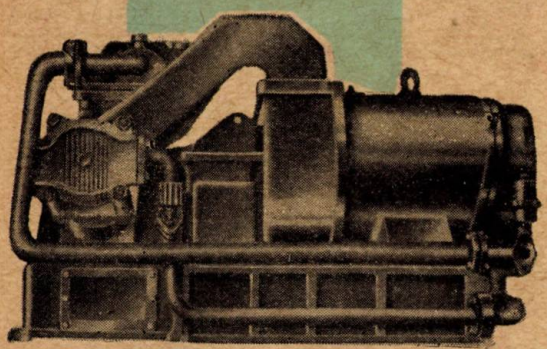
6

Uzina de Motoare şi Compresoare

Timpuri Noi

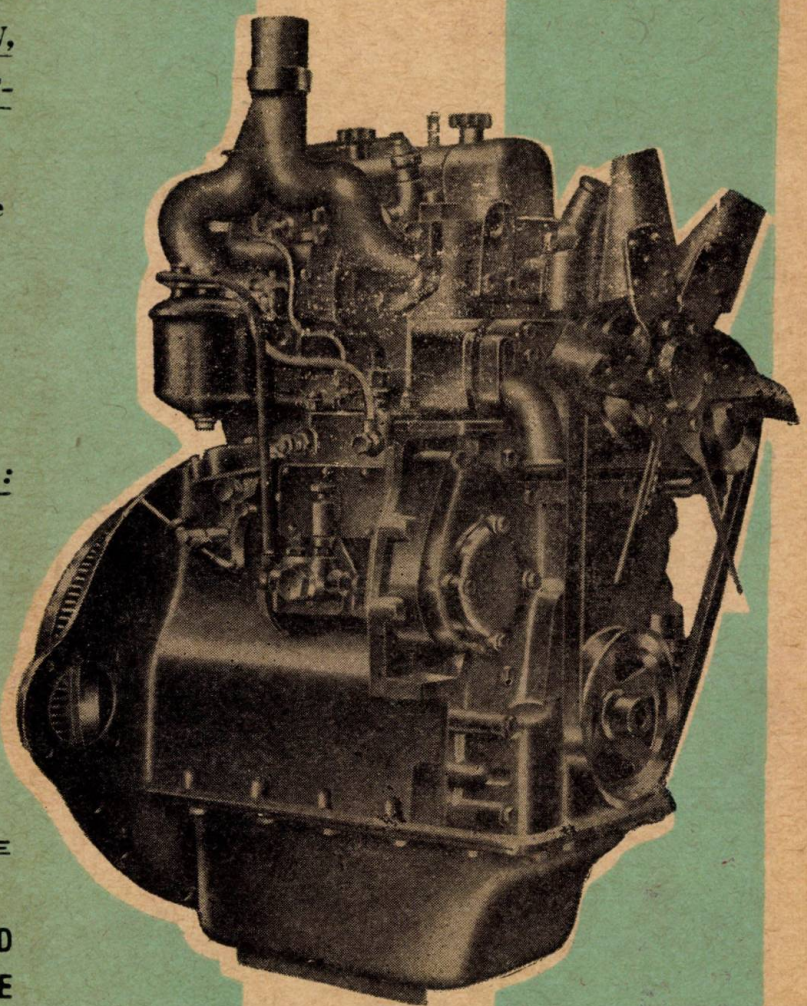
BUCUREŞTI

execută şi livrează în ţară şi străinătate



COMPRESOARE DE AER CU PISTON, CU DEBITE PÎNĂ LA 10 m³/min ŞI PRESIUNI 4-14 kgf/cm² PENTRU :

- Locomotive
- Instalaţii petroliere
- Excavatoare
- Automatizări
- Troleibuze
- Şantiere
- Garaje
- Vopsitorii



MOTOARE DIESEL CU PUTERI PÎNĂ LA 100 CP PENTRU :

- Utilaje de construcţii
- Utilaje pentru agricultură
- Pompe de uz general şi speciale
- Generatoare de c.a. şi c.c.
- Motocare şi motoridicătoare
- Ambarcaţiuni
- Utilaje pentru silvicultură

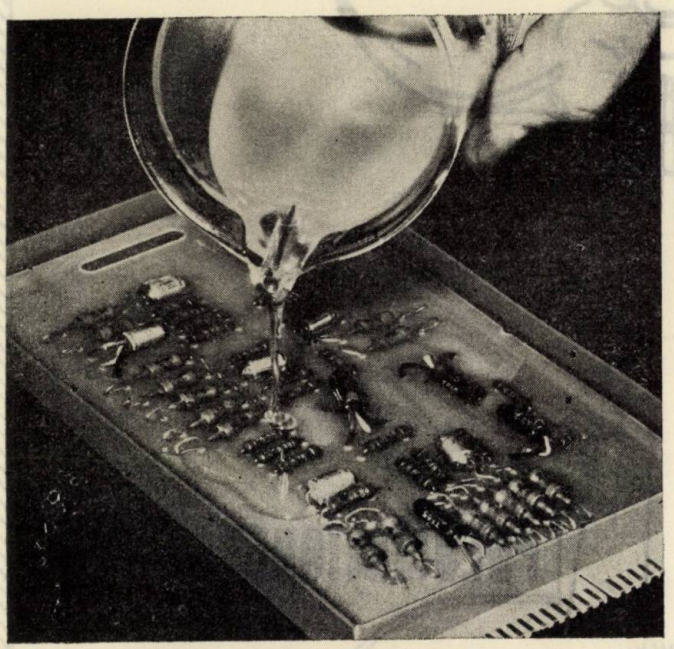
PENTRU REZOLVAREA PROBLEMELOR DV. PRIVIND ANTRENAREA CU MOTOARE DIESEL INDUSTRIALE ŞI UTILIZAREA COMPRESOARELOR DE AER CU PISTON

CONSULTAŢI SPECIALIŞTII UZINEI „TIMPURI NOI“

S 4668

Protecţie contra vibraţiilor şi umidităţii

Vibraţiile şi umiditatea influenţează funcţionarea elementelor constructive electronice. Protejaţi deci piesele importante prin SilGel, o substanţă de impregnare din silicon-cauciuc-transparent.



SilGel

are aspectul cauciucului, este rezistent la căldură şi frig, protejează contra apei, prezintă rezistenţă la intemperii şi îmbătrînire, are însuşiri electrice favorabile şi este bun conducător de căldură.

SilGel se poate prelucra uşor şi se solidifică la temperatura mediului ambiant.

Ca materiale netransparente pentru impregnare şi turnare vă recomandăm varietăţile noastre verificate de silicon-cauciuc, care se pot vulcaniza la rece.

Vă stăm cu plăcere la dispoziţie cu sfaturi şi cu prospectele noastre.

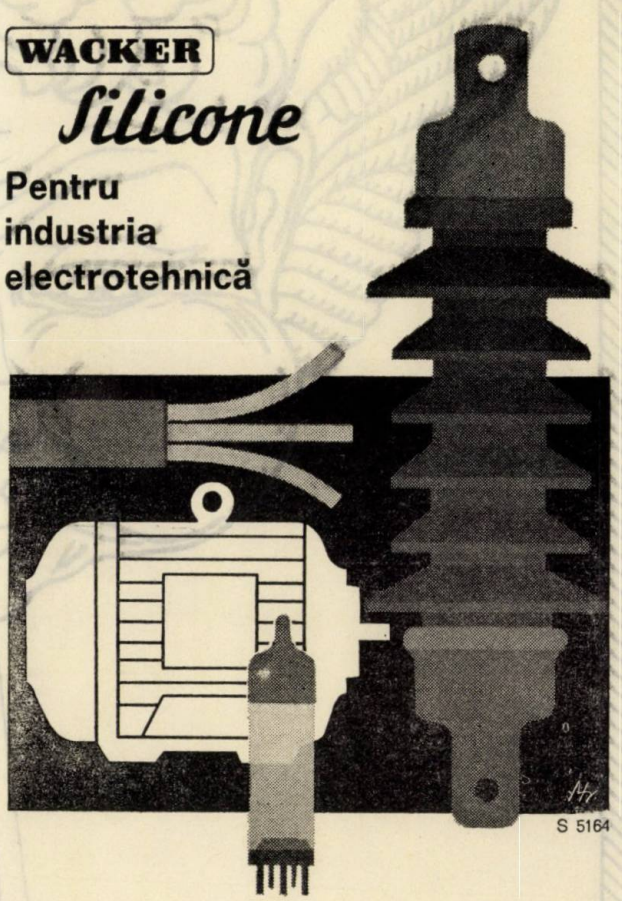
WAKER-CHEMIE GMBH

8 München 22, Postfach
Republica Federală a Germaniei

WACKER

Silicone

Pentru industria electrotehnică



S 5164

Răşini siliconice

Răşinile siliconice sînt lacuri superioare, folosite pentru impregnare, ca lianţi şi lacuri arse.

Soluţiile de răşini siliconice sînt indispensabile în condiţii de umiditate ridicată a aerului şi încălzire neobişnuită a materialului izolant. Ele suportă temperaturi continue pînă la 180°C, cum şi treceri de la umed la uscat ; structura izolaţiei cu silicon nu se schimbă, iar rezistenţa dielectrică la străpungere se menţine permanent.

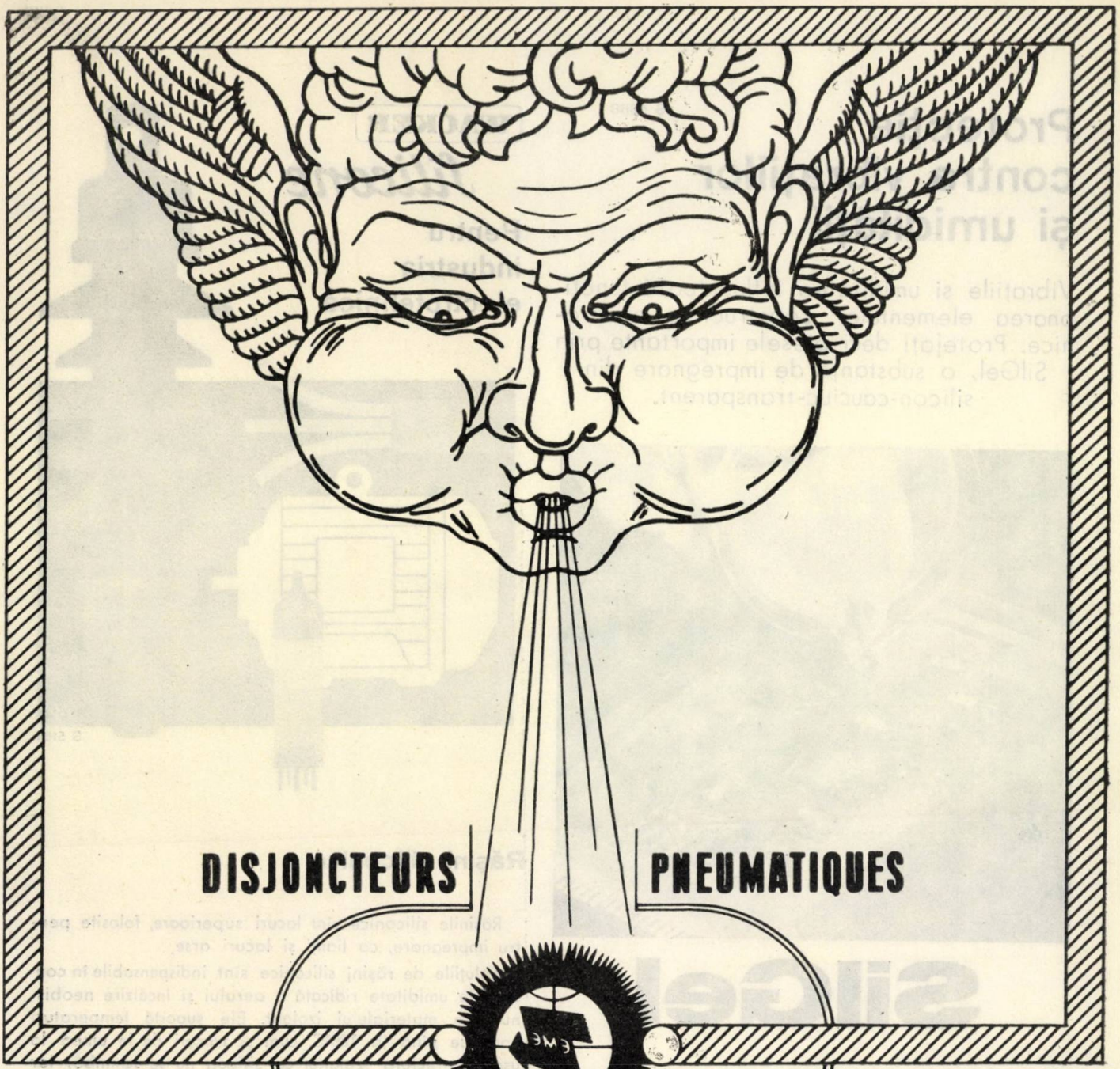
Ca liant pentru materialele stabile la temperatură ridicată, răşinile siliconice s-au comportat bine. Materialele stratificate lipite cu silicon din mătase de sticlă, mică sau azbest au excelente calităţi termice şi electrice.

Lacurile de vopsit pe bază de silicon sînt stabile pînă la temperaturi permanente de 220°C. Ele sînt utilizate, printre altele, la lăcuirea aparatelor de încălzit şi au o duritate excelentă chiar în domeniul temperaturilor mai ridicate.

Vă stăm cu plăcere la dispoziţie cu sfaturi şi cu prospectele noastre.

WACKER-CHEMIE GMBH

8 München 22. Postfach
Republica Federală a Germaniei



DISJONCTEURS PNEUMATIQUES

Întreruptoare **tip VVB**

ВВБ

În URSS s-a realizat şi introdus în producţie o nouă serie de întreruptoare aeriene cu camere metalice de amortizare la tensiuni de 110, 220, 330, 500, şi 750 kV.

Întreruptoarele acestei serii au o bună comportare în exploatare la cea mai mare hidrocentrală din lume, de la Krasnoiarsk. Primul întreruptor de 750 kV din Europa funcţionează pe linia industrială experimentală Konakovo—Moscova.

În construcţia seriei de întreruptoare VVB sînt respectate toate cerinţele principale privind creşterea securităţii în exploatare, comoditatea montajului şi revizia aparaturii.

Se disting:

— protecţia antiexplozivă;
— comoditatea reviziilor, fără utilizarea nici unui dispozitiv de ridicare;
— rezistenţa înaltă a contactelor;
— unificarea completă a principalelor subansambluri şi organe, pentru toate tensiunile;
— stabilitatea caracteristicilor.

Prin indicii tehnico—economici pe care-i prezintă, întreruptoarele VVB se situează la nivelul celor mai avansate aparate similare, de fabricaţie străină.

Informaţii se cer la adresa

V/O „ENERGOMAŞEXPORT" URSS, Moscova V—330, Mosfilmovskaia 35, Telex 225

ORSZÁGOS MÚSZAKI ... 1883

ELECTROTEHNICA

Anul 17 Nr. 6, 205–244 iunie 1969

CUPRINS

CZ 621.3.011.001.24 :537.212

Andreescu, N. : **Determinarea prin iterație a soluției ecuației lui Poisson, pentru un cîmp plan, în domeniul cuprins între două cercuri concentrice.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, iunie 1969, p. 205–210

Metoda permite rezolvarea ecuației lui Poisson, pentru cîmpuri plane, în cazul domeniului dublu conex, cuprins între două cercuri concentrice, cu o configurație determinată a surselor. Ea este exemplificată pentru cîmpul electric în regim electrocinetic staționar și aplicată pentru stabilirea unei metode de măsurare a conductibilității electrice pe piese mici de formă inelară.

CZ 621.3.014.32 : 538.323

Suciu, I. : **Forțele electrodinamice care solicită sistemele trifazate cu conductoarele echidistante în spațiu pe durata tranzitorie de scurtcircuit.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, iunie 1969, p. 210–217

Se aprofundează unele probleme legate de calculul forțelor electrodinamice care se exercită asupra unui sistem de trei conductoare echidistante în spațiu pe durata regimului tranzitoriu la scurtcircuit trifazat și se prezintă două metode grafoanalitice pentru determinarea diagramelor de variație în timp și spațiu a acestor forțe.

CZ 621.311.163–53.004.4.

Creța, V. : **Grupuri electrogene cu funcționare automată utilizate ca grupuri de intervenție.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, iunie, 1969, p. 217–223

Lucrarea tratează oportunitatea utilizării grupurilor electrogene de intervenție cu funcționare automată și problemele de bază privind construcția și perfecta lor funcționare. Totodată s-a reușit să se facă o clasificare a lor după timpul în care preiau în caz de avarie alimentarea consumatorilor.

În final se arată unele realizări în acest domeniu la Uzina de Mașini Electrice București.

CZ 621.312.621.316.56.027.7.004.2

Ogrezeanu, Șt. : **Controlul calității fabricației aparatajului de înaltă tensiune.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, iunie 1969, p. 224–231

Dezvoltarea producției de aparate electrice de înaltă tensiune, la uzina Electroputere, a impus perfecționarea construcției și a tehnologiei de execuție a acestora cum și perfecționarea controlului fabricației.

În articol se prezintă cerințele sistemului de control și modul de organizare al rețelei de control, stabilite conform specificului produselor și fabricației. Se arată dispunerea posturilor de control și se dau cîteva metode noi de verificare cu descrierea sumară a instalațiilor respective.

Printr-o judicioasă amplasare a posturilor de control și printr-o verificare cu metode și mijloace precise se asigură livrarea unor aparate cu bună funcționare în exploatare.

CZ 621.315/316+621.382 :539.163

Ionescu, G. și *Fochianu, V.* : **Rezultate noi privind acțiunea radiațiilor asupra materialelor și dispozitivelor electronice și electrotehnice.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, iunie 1969, p. 232–240

Se face o trecere în revistă a modificărilor suferite de materialele și dispozitivele electronice și electrotehnice supuse unui cîmp de radiații radioactive. Se adresează cadrelor tehnice angajate în construcția aparatajului destinat a funcționa în cîmpuri de radiații cît și personalului tehnic sau de laborator care utilizează acest aparataj în cîmpurile de radiații.

Recenzii 241
Referate 242–244

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.3.011.001.24 : 537.212

Андрееску, Н.: **Определение путем итерации решения уравнения Пуассона для плоского поля, в области, включенной в два концентрических круга.**
Electrotehnica **17**, nr. 6 июнь 1969, стр. 205–210

Метод дает решение уравнения Пуассона для плоских полей, в случае двойной — связной области, включенной между двумя концентрическими кругами, с определенной конфигурацией источников. Описано его применение для электрического поля в электрокинетическом стационарном режиме и для установления метода измерения электропроводимости на малых деталях кольцевой формы.

ДК 621.3.014.32 :538.323

Сучиу, И.: **Электродинамические силы, действующие на трехфазные пространственные системы с равностоящими проводниками при коротком замыкании.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, июнь 1969, стр. 210–217

Подробно рассматриваются вопросы, связанные с расчетом электродинамических сил, действующих на пространственные системы с тремя равностоящими проводниками при трехфазном коротком замыкании и приводятся два графо-аналитических метода для определения диаграмм изменения этих сил во времени и в пространстве.

ДК 621.311.163–53.004.4

Креца, В.: **Электрогенераторные агрегаты автоматического действия, применяемые в аварийных случаях.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, июнь 1969, стр. 217–223

В статье рассматривается целесообразность применения электрогенераторных агрегатов автоматического действия, применяемых в аварийных случаях, а также основные проблемы, касающиеся их конструкции и работы. Была также проведена их классификация по времени, в течение которого они обеспечивают, в случае аварии, снабжение потребителей.

В заключение сообщается о достижениях в этой области на электромашиностроительном заводе в Бухаресте.

ДК 621.312.621.316.56.027.7.004.2

Огрезяну, Шт.: **Контроль качества производства аппаратуры высокого напряжения.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, июнь 1969 стр. 224–231

Развитие производства электрических приборов высокого напряжения, на заводе ,,Electroputere'', вызвало необходимость усовершенствования их конструкции и технологии выполнения, а также усовершенствования контроля изготовления. В статье описаны требования системы контроля и способ организации контрольной сети, установленные в соответствии со спецификой изделий и их производством. Показано распределение контрольных пунктов и приведены новые методы проверки с кратким описанием данных установок. Правильное распределение контрольных пунктов и проверка на основе точных методов обеспечивают выпуск приборов, отличающихся хорошей работой в эксплуатации.

ДК 621.315/316+621.382: 539.163

Ионеску, Г. и *Фокяну, В.:* **Новые результаты в отношении действия излучений на электронные и электротехнические материалы и устройства.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, июнь 969, стр. 232–240

Дается обзор изменений, возникающих в электронных и электротехнических материалах и устройствах, подвергаемых действию поля радиоактивных излучений. Статья может быть использована техническими кадрами, работающими в области строительсатва аппаратуры, предназначенной для функционирования в поле излучений, а также техническим и лабораторным персоналом, применяющим эту аппаратуру в поле излучений.

РЕЦЕНЗИИ 241
ДОКЛДАЫ 242—244

INHALTSVERZVEICHNIS

DK 621.3.011.001.24 :537.212

Andreescu, N. : **Die Bestimmung durch Iteration der Lösung der Poisson'schen Gleichung für eine ebene Fläche Zwischen Zwei konzentrischen kreisen.**
Electrotehnica **17**, H. 6, Juni 1969, S. 205–210

Die Methode ermöglicht die Lösung der Poisson'schen Gleichung für ebene Flächen auf dem Gebiet der Doppelkupplung Zwischen zweikronzentrischen Kreizen mit einer bestmmten Gestaltung der Quellen. Als Beispiel wird das elektrische Feld im stationären elektrokinetischen Zustand gezeigt. Angewendet wird die Methode zur Bestimmung eines Messverfahrens von elektrischen Leitfähigkeiten kleiner, ringförmiger Elemente.

âK.621.3.014.32 :538.323

Suciu, Z. : **Die elektrodynamischen Kräfte, welche die Dreiphasensysteme mit gleichmässig räumlich verteilten Leitern während der Kurzschlussdauer beanspruchen.**
Electrotehnica, **17**, H. 6, Juni 1969, S. 210–217

Vertieft werden gewisse Probleme im Zusammenhang mit der Berechnung der elektrodynamischen Kräfte auf ein System von drei im Raum voneinander gleich entfernten Leitungen, während der vorübergehenden dreiphasigen Kurzschlusses. Darauf werden zwei grafisch-analytische Methoden zur Bestimmung der Diagramme für die zeitliche und örtliche Änderung dieser Kräfte angegeben.

DK 521.311.163–53.004.4

Creţa, V. : **Automatische Zentralen zum Einsatz in Notfällen**
Electrotehnica, **17**, H. 6, Juni 1969, S. 217–223

Die Arbeit behandelt die Zwechmässigkeit der Verwendung von automatischen Noteinsatzzentralen und die Grundprobleme : ihrer Konstruktion und ihres einwandfrein Betriebes. Dann gelang es eine Einteilung vorzunchmen in Abhängigkeit von der Zeit, in welcher die Zentralen im Notfall die Speisung der Stromabnehmer übernehmen.

Abschliessend werden einige diesbezügliche Erzeugnisse des Werkes „Uzina de Maşini Electrice Bucureşti" angegeben.

DK 621.312.621.316.56.027.7.004.2

Ogrezeanu, Şt. : **Die Qualitätskontrolle bei der Erzeugung der Hochspannungsapparatur**
Electrotehnica **17**, H. 6, Juni 1969, S. 224–231

Die Entwicklung der Erzeugung elektrischer Hochspannungsapparate im „Electroputere" — Werk bedingte auch die Vervoll-Kommnung der Konstruktion, der Ausführungstechnologie sowie die Verschärfung der Fabrikationskontrolle.

Der Aufsatz zeigt die Erfordnisse des Kontrollsystems sowie die Organisierung des Kontrollnetzes in Abhängigkeit von der Eigenart der Erzeugnisse und deren Herstellung. Gezeigt wird die Verteilung der Kontrollposten und einige neue Prüfmethoden mit kurzer Beschreibung ihrer Einrichtungen angegeben.

Durch eine Sinngemässe Einsetzung der Kontrollposten und eine Prüfung mittels genanen Methoden wird die Lieferung von betriebssicheren Apparaten gewährleistet.

DK 621.315/316+621.382.539.163

Ionescu, G. und *Fochianu, V.* : **Neue Resultate bzgl. der Bestrahlung von Materialien zowie von elektronischen und elektrotechnischen vorrichtungen.**
Electrotehnica **17**, H. 6, Juni 1969, S. 232–240

Man gibt einen allgemeinen Ueberblick über die Veränderungen, welchen die Materialien sowie die elektronischen und elektrotechnischen Vorrichtungen in einem Feld radioaktiver Bestrahlung ausgeretzt sind. Man richtet sich dabei an das Technische Personal, welches beim Bau der in Bestrahlungsfeldern arbeitenden Apparaten tätig ist sowie an diejenigen, welche diese Apparate in Bestrahlungsfeldern (Laboratorien u.s.w.) verwenden.

Buchbesprechungen **241**
Referate **242–244**

CONTENTS

D.C.621.3.011.001.24 :537.212

Andreescu, N. : **Determining by iteration the solution of Poisson's equation for a plane field in the range comprised between two concentric circles.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, iunie 1969, p. 205–210

The method allows to solve the Poisson's equation for plane fields, in the case of the double connected fiell comprised between two concentric circles with a determined source pattern. It is exemplified for the electric field in stationary electrokinetic state and useful for establishing a way of measuring the electric conductibility on ring-shaped small parts.

D.C.621.3.014.32. :538.323

Suciu, I. : **The electrodynamic forces stressing the three-phase systems with conductors equidistant in during the short-circuit faults.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, iunie 1969, p. 210–217

Some problems connected with the calculus of the electrodynamic forces acting on a system of three conductors equidistant in space for the duration of the transitory regime in three-phase short-circuit are discussed in detail and two grapho-analytical methods for determining the time-and space variation diagrams of these forces are described.

D.C.621.311.163.–53.004.4

Creţa, V. : **Automatically working generating sets used for intervention purposes.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, iunie 1969, p. 217–223

The paper discusses the opportuneness of the utilization of automatically working electrogenerators intervention groups and the basic problems concerning their construction and perfect working. A classification of these groups has also been made according to the time at which they take over the consumer supply in case of breakdown. Some achievements obtained in this field at the Bucharest Electric Machine Works are pointed out in conclusion.

D.C.621.312.621.316.56.027.7.004.2

Ogrezeanu, Şt. : **Controlling the manufacturing quality of the high-voltage switchgear.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, iunie 1969, p. 224–231

The developing production of high-voltage switchgear at the „Electroputere Works required the improvement of their construction and manufacturing technology as well as an improved fabrication control.

The paper describes the requirements of the control system and the way of organizing the control network, established according to the specific character of products and fabrication. The location of the control points is shown and some new control methods and a brief description of the respective installations are given.

It is concluded that a rational location of the control points and the use of accurate means and methods allow to ensure the delivery of apparatus with good exploitation capacity.

D.C.621.315/316+621.382 :539.163

Ionescu, G. and *Fochianu, V.* : **New results concerning the action of radiations on electronic and electrotechnical devices.**
Electrotehnica **17**, nr. 6, iunie 1969, p. 232–240

The changes undergone by the electronic and electrotechnical devices subject to a field of radioactive radiations are reviewed. The data are helpful to the technical staff involved in the construction of the switchgear designed for working in radiation fields as well as to the technical and laboratory staff using such equipment in the radiation fields.

Reviews 241
Raports 242–244

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 nr. 6 București, iunie, 1969

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS INTÉZET

Determinarea prin iterație a soluției ecuației lui Poisson, pentru un cîmp plan, în domeniul cuprins între două cercuri concentrice

NICOLAE ANDREESCU* — București

CZ 621.3.011.001.24 : 537.212

Soluția ecuației Poisson depinde, după cum se știe, atît de configurația surselor cît și de condițiile la limită impuse pe frontiera domeniului de existență. Rezolvarea analitică riguroasă a ecuației nu este posibilă decît pentru anumite cazuri, cînd atît volumul ocupat de surse și repartiția lor, cît și domeniul studiat, se prezintă sub forme simple. Pentru celelalte cazuri se aplică metode aproximative de calcul analitic, grafic sau numeric, care în general satisfac necesitățile practice.

Pe baza soluției ecuației lui Poisson, cunoscută din electrostatică, pentru un cilindru dielectric de permitivitate ε_2, introdus într-un mediu omogen și izotrop, de permitivitate ε_1, în care există inițial un cîmp electric plan de o configurație dată [1], și folosind o metodă de iterație, se poate găsi expresia cîmpului electric plan în domeniul cuprins între două cercuri concentrice, ale cărui surse se află în acest domeniu și ocupă porțiuni relativ mici ale domeniului.

Pentru concretizare, metoda se va descrie în cazul regimului electrocinetic staționar, în scopul determinării cîmpului electric în domeniul conductor format de interiorul cilindrului de rază a și exteriorul cilindrului de rază b (fig. 1), în ipoteza că expresia cîmpului în absența frontierelor este dată de $V_0(r, \theta)$.

Metoda se poate utiliza în mod analog pentru calculul cîmpurilor electrostatice sau magnetostatice.

Domeniul $\mathcal{D}$, din figura 1, se poate întîlni în practică, la studiul cîmpului plan creat într-un cilindru conductor găurit, de înălțime g, în care sînt plasate conductoare perfect filiforme, reprezentate în plan prin punctele P_1, $P_2 \ldots P_k \ldots P_n$.

* Ing. *N. Andreescu* este cercetător principal la I.F.A.

Din conductoarele P_k pătrund în material curenții I_k, astfel încît să fie îndeplinită condiția :

$$\sum_{k=1}^{n} I_k = 0. \qquad (1)$$

În afară de conductoarele filiforme amintite, mai pot fi considerate și alte surse, și anume

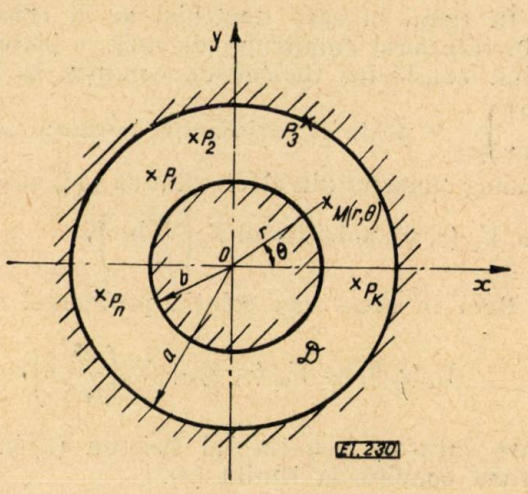


Fig. 1. Domeniul $\mathcal{D}$ cuprins între cilindrii circulari de raze a și b.

conductoare perfecte cu simetrie cilindrică de formă oarecare, dar astfel de cazuri se întîlnesc mult mai rar și tratarea lor analitică nu este posibilă într-un caz general, chiar în absența frontierelor domeniului $\mathcal{D}$.

În situația aceasta trebuie căutat un potențial care să satisfacă ecuația lui Poisson :

$$\Delta V(r, \theta) = -\frac{\rho}{g} \sum_{k=1}^{n} I_k \delta(r - r_k) \cdot \delta(\theta - \theta_k) \qquad (2)$$

și condițiile la limită:

$$\left|\frac{\partial V(r,\ \theta)}{\partial r}\right|_{r=a} = \left|\frac{\partial V(r,\ \theta)}{\partial r}\right|_{r=b} = 0 \cdot \quad (3)$$

În relația (2) s-a notat cu ρ rezistivitatea conductorului care umple domeniul $\mathfrak{D}$, iar cu $\delta(x-x_k)$, funcțiunea δ a lui Dirac.

Cînd sursele de curent se află și pe granița domeniului $\mathfrak{D}$, atunci în punctele respective ale frontierei, condiția (3) nu trebuie să fie îndeplinită.

Dacă domeniul de existență ar fi spațiul infinit, atunci soluția ecuației (2) ar fi dată de relația:

$$V_0(r,\ \theta) = \frac{\rho}{2\pi g}\sum_{k=1}^{n} I_k \ln R_k, \quad (4)$$

unde R_k este distanța dintre punctul curent $M(r,\ \theta)$ și punctul $P_k(r_k,\ \theta_k)$, a cărei expresie este:

$$R_k^2 = r^2 + r_k^2 - 2rr_k \cos(\theta-\theta_k). \quad (5)$$

Deci:

$$V_0(r,\theta) = \frac{\rho}{4\pi g}\sum_{k=1}^{n} I_k \ln[r^2+r_k^2-2rr_k\cos(\theta-\theta_k)]. \quad (6)$$

În cazul în care domeniul ar fi constituit din interiorul cilindrului de rază a (exteriorul fiind considerat dielectric), condiția la limită $\left(\frac{\partial V}{\partial r}\right)_{r=a} = 0$ poate fi satisfăcută, conform cazului anolog cunoscut din electrostatică [1], adăugînd lui $V_0(r,\ \theta)$, potențialul $V_0\left(\frac{a^2}{r},\theta\right)$,

Deci în acest caz soluția problemei ar fi:

$$V_1(r,\ \theta) = V_0(r,\ \theta) + V_0\left(\frac{a^2}{r},\theta\right), \quad (7)$$

care satisface ecuația lui Poisson (2) în $\mathfrak{D}$ și prima condiție la limită (3).

În adevăr;

$$\Delta V_0\left(\frac{a^2}{r},\ \theta\right) = 0, \quad (8)$$

după cum se poate constata din calcul, pentru că toate sursele cîmpului se află în $\mathfrak{D}$ și

$$\left[\frac{\partial V_1(r,\ \theta)}{\partial r}\right]_{r=a} = 0$$

Pentru a se avea în vedere a doua condiție la limită (3), se ține seamă că interiorul cilindrului de rază b este umplut cu un material dielectric și, folosind aceeași analogie electrostatică, se obține un nou termen aditiv $V_1\left(\frac{b^2}{r},\ \theta\right)$, deci expresia potențialului va fi:

$$V_2(r,\ \theta) = V_1(r,\theta) + V_1\left(\frac{b^2}{r},\ \theta\right), \quad (10)$$

care satisface ecuația lui Poisson în $\mathfrak{D}$ și a doua condiție la limită (3), dar nu satisface prima condiție la limită (3).

Existența cilindrului de rază b creează deci o perturbație a cîmpului al cărui potențial este $V_1(r,\ \theta)$ exprimată prin $V_1\left(\frac{b^2}{r},\ \theta\right)$.

Problema se poate trata acum, ca și cum cilindrul de rază a, s-ar afla numai în cîmpul dat de $V_1\left(\frac{b^2}{r},\ \theta\right)$ cînd soluția problemei ar fi:

$$V_3(r,\ \theta) = V_1\left(\frac{b^2}{r},\ \theta\right) + V_1\left(\frac{b^2}{a^2}r,\ \theta\right). \quad (11)$$

Prin urmare, cîmpul dat de:

$$V'_3(r,\ \theta) = V_1(r,\ \theta) + V_3(r,\ \theta) \quad (12)$$

satisface ecuația lui Poisson în $\mathfrak{D}$ și prima condiție pe frontieră (3), dar nu satisface a doua condiție pe frontieră din cauza termenului $V_1\left(\frac{b^2}{a^2}r,\ \theta\right)$, care a apărut din cauza cilindrului exterior.

Acest termen poate fi privit ca o perturbație pentru cilindrul de rază b, care aduce după sine conform raționamentului de mai sus, apariția unui alt termen $V_1\left(\frac{b^4}{a^2 r},\ \theta\right)$, acesta, la rîndul său, reprezintă o perturbație pentru cilindrul de rază a și așa mai departe. Însumînd toate aceste perturbații cu potențialul inițial $V_0(r,\ \theta)$, se obține soluția finală, care poate fi scrisă astfel:

$$V(r,\ \theta) = V_1(r,\ \theta) + V_1\left(\frac{b^2}{r},\theta\right) + V_1\left(\frac{b^2}{a^2}r,\theta\right) + V_1\left(\frac{b^4}{a^2 r},\ \theta\right) + V_1\left(\frac{b^4}{a^4}r,\ \theta\right) + \ldots + V_1\left(\frac{b^{2n}}{a^{2n-2}r},\ \theta\right) + V_1\left(\frac{b^{2n}}{a^{2n}}r,\ \theta\right) + \ldots \quad (13)$$

sau, mai concentrat:

$$V(r,\ \theta) = V_1(r,\ \theta) + \sum_{n=1}^{\infty}\left[V_1\left(\frac{b^{2n}}{a^{2n-2}r},\ \theta\right) + V_1\left(\frac{b^{2n}}{a^{2n}}r,\ \theta\right)\right], \quad (13')$$

unde $V_1(r,\ \theta)$ este dat de relația (7)

Ordonînd altfel termenii și notînd:

$$V_1'(r, \theta) = V_0(r, \theta) + V_0\left(\frac{b^2}{r}, \theta\right), \quad (7')$$

expresia (13') se mai poate scrie:

$$V(r, \theta) = V_1'(r, \theta) + \sum_{n=1}^{\infty}\left[V_1'\left(\frac{a^{2n}}{b^{2n-2}r}, \theta\right) + V_1'\left(\frac{a^{2n}}{b^{2n}}r, \theta\right)\right]. \quad (13'')$$

Se poate arăta că seria (13') este convergentă dacă $V_1(0) = 0$. În adevăr, aplicînd criteriul lui d'Alembert fiecăreia din seriile:

$$\sum_{1}^{\infty} V_1\left(\frac{b^{2n}}{a^{2n-2}r}, \theta\right), \quad (14)$$

și

$$\sum_{1}^{\infty} V_1\left(\frac{b^{2n}}{a^{2n}}r, \theta\right), \quad (15)$$

se obține:

$$\lim_{n\to\infty}\frac{a_{n+1}}{a_n} < 1 \text{ (anexă).}$$

Dacă $V_1(0) = C \neq 0$, se consideră ca funcție de bază în relația (7) expresia:

$$V_1''(r, \theta) = V_0(r, \theta) + V_0\left(\frac{a^2}{r}, \theta\right) - C \quad (16)$$

care duce la o serie convergentă ce reprezintă soluția problemei.

Convergența seriei (13') se putea deduce și din considerente fizice, observînd că modul de obținere al acestei serii este inspirat de procesul de stabilire al cîmpului electric în regim staționar, în mediul conductor $\mathcal{D}$ dintre cei doi cilindri izolanți.

În adevăr, se presupune că este stabilit în tot spațiul cîmpul determinat de $V_0(r, \theta)$.

Se admite că printr-un mijloc oarecare, se face ca exteriorul cilindrului de rază a să devină izolant, ceea ce provoacă apariția de sarcini electrice pe suprafața $r = a$, din cauza discontinuității densității de curent pe această suprafață. Cîmpul acestor sarcini suprapus peste cel inițial duce la forma (7), în interiorul cilindrului, contribuția sarcinilor fiind deci reprezentată de termenul $V_0\left(\frac{a^2}{r}, \theta\right)$.

Se admite că și interiorul cilindrului de rază b devine izolant, ceea ce introduce discontinuități ale densității de curent pe suprafața $r = b$ și deci apariția unor sarcini care creează cîmpul suplimentar $V_1\left(\frac{b^2}{r}, \theta\right)$ în exteriorul acestei suprafețe.

Pentru acest cîmp se repetă procesul explicat pentru $V_0(r, \theta)$, obținîndu-se un nou cîmp $V_1\left(\frac{b^2}{a^2}r, \theta\right)$ și așa mai departe, adică exact termenii care intră în componența relației (13'). Deoarece în final se obține cîmpul real, existent în domeniul $\mathcal{D}$, rezultă că seria (13') trebuie să fie convergentă.

Funcțiunea $V(r, \theta)$, dată de una dintre expresiile (13), (13') sau (13''), este soluția problemei pentru că ea verifică ecuația lui Poisson (2) și îndeplinește condițiile la limită (3), așa după cum se poate ușor verifica.

Aplicație la justificarea metodei de măsurare a rezistivității pieselor în formă de inel

Se cunosc avantajele folosirii metodei determinării rezistivității pe probe mici, constituite din plăci de grosime constantă, de formă oarecare [2] și în particular pentru discuri circulare [3], de o anumită grosime g.

În cazul materialelor magnetice, cînd în general se pregătesc inele pentru a se măsura caracteristicile magnetice, este util ca să se efectueze și măsurarea rezistivității pe aceleași probe. Pentru aceasta, inelul se prinde între patru electrozi sub formă de cuțit, plasați simetric la periferia sa (fig. 2), care asigură contactul electric pe întreaga grosime g a inelului.

Prin contactele A și B se trimite în inel curentul I, iar la contactele C și D se măsoară o tensiune U. Trebuie găsită relația care leagă aceste două mărimi.

Pe baza relației (6) și ținînd seamă de coordonatele punctelor A și B (fig. 2), se obține pentru potențialul cîmpului creat de electrozii A și B în placa de grosime g care umple tot planul:

$$V_0(r, \theta) = \frac{\rho I}{4\pi g}\ln\frac{r^2 + a^2 - 2ar\cos\theta}{r^2 + a^2 - 2ar\sin\theta}. \quad (17)$$

Cîmpul în interiorul cilindrului de rază a, dacă exteriorul său este dielectric, va fi determinat conform relației (7), de potențialul:

$$V_1(r, \theta) = \frac{\rho I}{2\pi g}\ln\frac{r^2 + a^2 - 2ar\cos\theta}{r^2 + a^2 - 2ar\sin\theta}. \quad (18)$$

La același rezultat se ajunge dacă se rezolvă problema cu ajutorul unei transformări conforme adecvate.

În inel, cîmpul electric va fi dat, după (13′) de expresia :

$$V(r,\theta) = \frac{\rho I}{2\pi g}\left[\ln\frac{r^2+a^2-2ar\cos\theta}{r^2+a^2-2ar\sin\theta} + \right.$$

$$+\sum_1^\infty \ln\frac{\frac{b^{4n}}{a^{4n-4}r^2}+a^2-2a\frac{b^{2n}}{a^{2n-2}r}\cos\theta}{\frac{b^{4n}}{a^{4n-4}r^2}+a^2-2a\frac{b^{4n}}{a^{2n-2}r}\sin\theta} +$$

$$\left.+\sum_1^\infty \ln\frac{\frac{b^{4n}}{a^{4n}}r^2+a^2-2ar\frac{b^{2n}}{a^{2n}}\cos\theta}{\frac{b^{4n}}{a^{4n}}r^2+a^2-2ar\frac{b^{2n}}{a^{2n}}\sin\theta}\right]. \quad (19)$$

Tensiunea U culeasă între punctele C și D este :

$$U = V_C - V_D = 2\,V_C. \quad (20)$$

deoarece, din motive de simetrie $V_C = -V_D$ și înlocuind valorile corespunzătoare, se găsește :

$$U = \frac{\rho I}{\pi g}\left[\ln 2 + 2\ln\prod_1^\infty \frac{\left(\frac{b^{2n}}{a^{2n}}+1\right)^2}{\frac{b^{4n}}{a^{4n}}+1}\right]. \quad (21)$$

Se poate arăta că expresia (21) este echivalentă (anexa) cu următoarea :

$$U = \frac{\rho I}{\pi g}\left[\ln 2 + 4\sum_1^\infty \frac{(-1)^{m+1}}{m}\frac{\left(\frac{b}{a}\right)^{2m}}{1-\left(\frac{b}{a}\right)^{2m}} - \right.$$

$$\left. - 2\sum_1^\infty \frac{(-1)^{m+1}}{m}\frac{\left(\frac{b}{a}\right)^{4m}}{1-\left(\frac{b}{a}\right)^{4m}}\right] \quad (22)$$

Cînd $\frac{b}{a} = 0$ se obține relația cunoscută de la discul de o anumită grosime g :

$$U = \frac{\rho I}{\pi g}\ln 2 \quad (23)$$

și deci :

$$\rho = \frac{\pi g}{\ln 2}\frac{U}{I}. \quad (24)$$

În cazul de față expresia lui ρ este :

$$\rho = g\frac{U}{I}k\left(\frac{b}{a}\right). \quad (25)$$

unde coeficientul $k\left(\frac{b}{a}\right)$ este dat de :

$$k\left(\frac{b}{a}\right) = \frac{\pi}{\ln 2 + 4\sum_1^\infty \frac{(-1)^{m+1}}{m}\frac{\left(\frac{b}{a}\right)^{2m}}{1-\left(\frac{b}{a}\right)^{2m}} - \frac{\pi}{-2\sum_1^\infty \frac{(-1)^{m+1}}{m}\frac{\left(\frac{b}{a}\right)^{4m}}{1-\left(\frac{b}{a}\right)^{4m}}}} \quad (26)$$

sau dezvoltînd :

$$k(p) = \frac{\pi}{\ln 2 + \frac{4p^2}{1-p^2}\left(\frac{1}{1+p^2}+\frac{1}{3}\frac{p^4}{1+p^2+p^4}+\right.}$$

$$\frac{\pi}{\left. +\frac{1}{5}\frac{p^8}{1+p^2+p^4+p^6+p^8} - \frac{\pi}{-\frac{1}{3}\frac{p^{10}}{1+p^2+p^4+p^6+p^8+p^{10}}+\dots\right)}}, \quad (27)$$

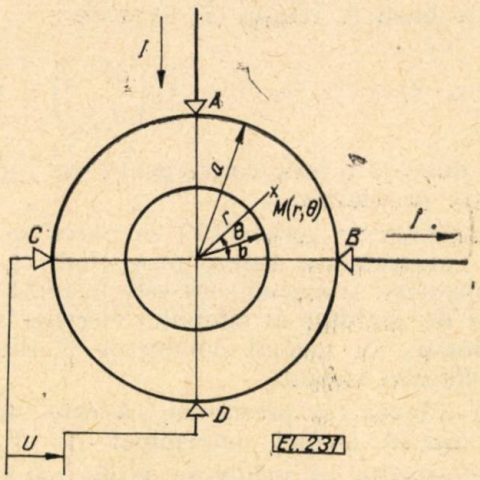


Fig. 2. Amplasarea contactelor de curent și tensiune la proba în formă de inel.

unde s-a notat pentru simplificarea scrierii $p = \frac{b}{a}$.

Această expresie este suficientă pentru calculul lui $k\ (p)$, care este reprezentat grafic în figura 3 și poate servi direct la măsurarea rezistivității, folosind relația (25) și cunoscînd raportul $\frac{a}{b}$.

Pentru verificarea experimentală a acestor calcule s-au tăiat mai multe inele dintr-un material cu rezistivitate cunoscută, de aceeași grosime

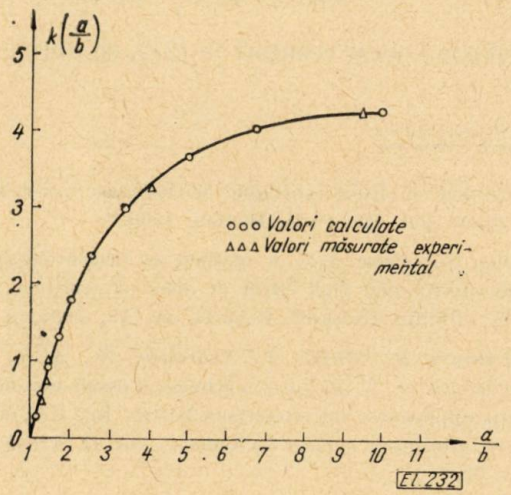


Fig. 3. Variația coeficientul $k\ \frac{a}{b}$ în funcție de raportul $\frac{a}{b}$.

și cu același diametru exterior, avînd însă diametrul interor diferit.

Pentru un curent dat I introdus prin contactele A și B (fig. 2), s-a măsurat o tensiune U între vîrfurile C și D din care s-a calculat $k\ (p)$. Din figura 3 se observă că rezultatele experimentale coincid, practic cu calculele.

Concluzii

Metoda prezentată permite, pe o cale relativ simplă, obținerea soluției ecuației lui Poisson pentru o configurație dată a surselor, în cazul cîmpului plan, pentru domeniul cuprins între două cercuri concentrice. Ea este exemplificată pentru calculul cîmpului electric în regim electrocinetic staționar cînd domeniul este umplut cu un mediu conductor de rezistivitate ρ, iar sursele sînt formate din conductoare perfecte, filiforme.

O aplicație este tratată complet pentru cazul unui inel de secțiune dreptunghiulară cu un amplasament dat al electrozilor de curent și de tensiune, în scopul determinării rezistivității inelului.

Cu acest prilej este determinată variația coeficientului $k\left(\frac{a}{b}\right)$ care intervine în relația de calcul a rezistivității și deci este fundamentat un nou procedeu de măsurare a rezistivității, folosind piese mici, de formă inelară.

ANEXA

a) **Convergența seriei (13′)**

Se notează :

$$\frac{b^{2n}}{a^{2n-2}r} = \frac{b^{2n}}{a^{2n}} \cdot \frac{a^2}{r} = \xi \text{ și } \frac{b^{2n}}{a^{2n}} r = \zeta. \qquad (28)$$

Se observă că pentru $n \to \infty$, $\xi \to 0$ și $\zeta \to 0$ pentru că $\frac{b}{a} < 1$ și $b \leqslant r \leqslant a$.

Se aplică criteriul lui d'Alembert pentru seria (14), de exemplu :

$$\lim_{n\to\infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = \lim_{\xi\to 0} \frac{V_1\left(\frac{b^2}{a^2}\xi,\ \theta\right)}{V_1\ (\xi,\ \theta).} \qquad (29)$$

Expresia (29) este de forma $\frac{0}{0}$ pentru că se presupune $V_1\ (0) = 0$ și deci se poate aplica regula lui l'Hôpital :

$$\lim_{n\to\infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = \lim_{\substack{\xi\to 0 \\ \lambda\to 0}} \frac{\frac{b^2}{a^2} \frac{\partial\ V_1\ (\lambda,\theta)}{\partial\lambda}}{\frac{V_1\ (\xi,\ \theta)}{\partial\xi}} = \frac{b^2}{a^2} < 1, \qquad (30)$$

unde s-a notat :

$$\lambda = \frac{b^2}{a^2}\ \xi, \qquad (31)$$

pentru că :

$$\left.\frac{\partial V_1\ (\lambda,\ \theta)}{\partial\lambda}\right|_{\lambda=0} = \left.\frac{\partial V_1\ (\xi,\ \theta)}{\partial\xi}\right|_{\xi=0} = -\ E_r(\theta), \qquad (32)$$

adică, componenta cu semn schimbat după $\bar{u}_r$ a cîmpului electric determinat de potențialul $V_1\ (r,\ \theta)$, în origine.

Valoarea lui $E_r\ (\theta)$, pentru $r \to 0$, este diferită de zero în afară de două valori ale lui θ pentru care se anulează. Pentru aceste două valori se efectuează o nouă derivare și se obține același rezultat : seria este convergentă.

Pentru seria (15) se procedează analog.

b) Scrierea sub formă de serie a expresiilor de tipul $\ln \prod_1^\infty (1 + u^n)$.

Fie :

$$S = \prod_1^\infty (1 + u^n) \qquad (33)$$

$$\ln S = \sum_1^\infty \ln\ (1 + u^n). \qquad (34)$$

Pentru $u < 1$ se folosește dezvoltarea în serie, cunoscută :

$$\ln (1+u^n) = u^n - \frac{1}{2} u^{2n} + \frac{1}{3} u^{3n} \ldots + (-1)^{m+1} \frac{1}{m} u^{mn} + \ldots, \quad (35)$$

deci (34) devine :

$$\ln S = \sum_1^\infty u^n - \frac{1}{2} \sum_1^\infty u^{2n} + \ldots (-1)^{m+1} \frac{1}{m} \sum_1^\infty u^{mn} + \ldots \quad (36)$$

sau :

$$\ln S = \sum_{m=1}^\infty (-1)^{m+1} \frac{1}{m} \sum_{n=1}^\infty u^{mn}. \quad (36')$$

Dar :

$$\sum_{n=1}^\infty u^{mn} = \frac{u^m}{1-u^m}, \quad (37)$$

deci :

$$\ln S = \sum_{m=1}^\infty \frac{(-1)^{m+1}}{m} \frac{u^m}{1-u^m}. \quad (38)$$

Folosind acest rezultat în (21), se obține (22).

Bibliografie

[1] *Durand, E.* Electrostatique. Méthodes de calcul. Diélectriques vol. **III**. Paris, Masson, 1966.

[2] *Van der Pauw, L.J.* A method of measuring specific resistivity and Hall effect of discs of arbitrary shape. În : Philips Research Reports, nr. 13, 1958, p. 1—9.

[3] *Lăbușcă, E., Mirion, I., Andreescu, N., Alecu, M.* și *Bâscoveanu, I.* Quelques méthodes d'essais non destructifs applicables aux matériaux frittés. În : Non-destructive testing in nuclear technology, vol. **II**, Viena, 1965, p. 75.

Intrat în redacție
30.VII.1968

Forțele electrodinamice care solicită sistemele trifazate cu conductoarele echidistante în spațiu pe durata tranzitorie de scurtcircuit

IACOB SUCIU* — Timișoara

CZ 621.3.014.32 : 538.323

În sistemele electrice de curenți tari cele mai frecvente și indezirabile procese electromagnetice tranzitorii sînt procesele provocate de scurtcircuite, care exercită asupra căilor de curent puternice solicitări mecanice și termice. În cazul acesta pentru studiul forțelor electrodinamice se iau în considerare scurtcircuitele trifazate metalice, cînd rezistențele de trecere în punctul de avarie se pot neglija și sistemele de curenți și tensiuni sînt simetrice.

Cu toate că frecvența relativă de apariție a scurtcircuitului trifazat este mică în comparație cu aceea a scurtcircuitelor la pămînt, monofazate, scurtcircuitele trifazate nu pot fi neglijate și trebuie luate în considerație, fiind hotărîtoare în aprecierea posibilității funcționării sistemului în regimul de scurtcircuit.

În continuare se presupune că circuitele sînt conectate la o sursă de tensiune sinusoidală a cărei amplitudine este constantă, iar procesul tranzitoriu în circuit se caracterizează numai prin amortizarea componentelor aperiodice ale supracurentului, componentele periodice păstrîndu-se sinusoidale la parametri constanți ai elementelor circuitului. Această ipoteză este valabilă numai în cazul cînd scurtcircuitul se produce într-un punct relativ îndepărtat față de generator.

Deși cel mai frecvent sistem de montare a barelor colectoare trifazate este cel coplanar, totuși barele așezate în vîrfurile unui triunghi echilateral își păstrează încă importanța. Astfel există sisteme de bare trifazate ecranate, dispuse echidistant în spațiu, cu sau fără pereți radiali despărțitori, care fac legătura între generatoarele de putere și transformatoare la centralele electrice [2]. Distanțele relativ mici între barele de fază (de exemplu : $a = 150$; 280 ; 372 mm) și curenții de scurtcircuit foarte mari fac ca forțele electrodinamice să solicite considerabil sistemul de bare echidistante în spațiu.

Într-o serie de lucrări de specialitate (bibliografia anexată) studiile asupra forțelor electrodinamice la scurtcircuit, care iau naștere în sistemele trifazate, cu barele așezate echidistant în spațiu sînt tratate sumar.

* Ing. *I. Suciu* este conferențiar la Institutul politehnic — Timișoara.

În lucrare se studiază mai pe larg și unitar aceste forțe electrodinamice care iau naștere pe durata regimului tranzitoriu de scurtcircuit. Astfel se determină ecuația generală a forțelor electrodinamice în funcție de timp, de amortizarea componentei aperiodice și de faza inițială a curentului din conductorul fazei A în momentul conectării pe scurtcircuit. Se prezintă apoi două metode grafoanalitice pentru determinarea diagramelor de variație în timp și spațiu a forțelor electrodinamice specifice pe durata fenomenului tranzitoriu al scurtcircuitului.

1. Formula generală a forței electrodinamice

Se consideră un circuit electric trifazat, încărcat simetric cu o sarcină inductivă, alimentat de la o sursă de putere infinită. La apariția unui scurtcircuit trifazat metalic, în segmentul de circuit rămas conectat la sursă, ia naștere un supracurent și se modifică în general defazajul acestuia.

Ecuația supracurentului, de exemplu pentru faza A, pe durata regimului de scurtcircuit are expresia cunoscută:

$$i = i_{pm} \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \varphi_k) + e^{-\alpha t}\,[i_m \cdot \sin(\psi_u - \varphi) - i_{pm} \cdot \sin(\psi_u - \varphi_k)], \quad (1)$$

în care:

$i_{pm} = u_m \cdot Z_k^{-1}$ este amplitudinea componentei periodice (neamortizată) a curentului de scurtcircuit;

$|u_m|$ — amplitudinea tensiunii de alimentare;

Z_k — impedanța de scurtcircuit, funcție de x_k și r_k;

ψ_u — faza tensiunii în momentul apariției scurtcircuitului (faza inițială la $t = 0$).

$\varphi_k = \operatorname{arc\,tg} \dfrac{x_k}{r_k}$ — unghiul de defazaj al curentului periodic (argumentul impedanței de scurtcircuit);

φ — unghiul de defazaj al curentului de sarcină corespunzător regimului premergător avariei de scurtcircuit;

i_m — amplitudinea curentului de sarcină;

$\alpha = T_a^{-1} = \dfrac{\omega \cdot r_k}{x_k}$ — factorul de amortizare în care T_a este constanta de timp a circuitului (respectiv a componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit).

Cea mai frecventă și mai simplă condiție de calcul pentru determinarea valorii maxime instantanee a curentului de scurtcircuit se capătă cînd curentul de sarcină este nul în clipa apariției scurtcircuitului (conectare pe un scurtcircuit sau o linie în gol scurtcircuitată brusc).

Astfel substituind în ecuația (1) pe $i_m = 0$ și $\psi_u - \varphi_k = \psi_i$, care este faza inițială a curentului la $t = 0$, se obține:

$$i(t, \psi_i) = i_{pm}\,[\sin(\omega t + \psi_i) - e^{-\alpha t} \cdot \sin \psi_i], \quad (2)$$

unde:

$i_p = i_{pm} \cdot \sin(\omega t + \psi_i)$ este componenta periodică a curentului de scurtcircuit;

$i_a = -i_{pm} \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin \psi_i$ — componenta aperiodică (liberă) a curentului de scurtcircuit.

Ecuația (2) se poate referi la oricare fază și este valabilă pentru avarii la scurtcircuit brusc, îndepărtat de sursa de alimentare.

Cum de obicei la scurtcircuit $\varphi_k \approx \dfrac{\pi}{2}$, faza $\psi_u = 0$, sau $\psi_u = \pi$ a tensiunii în momentul conectării pe scurtcircuit, pentru care se atinge valoarea maximă a componentei aperiodice $\left(i_{a\,max} = \mp i_{pm} \text{ la } \psi_i = \pm \dfrac{\pi}{2} \text{ și } t = 0\right)$, determină și valoarea instantanee maximă a supracurentului.

Această valoare maximă, denumită curent de șoc (de lovitură), apare aproximativ după o semiperioadă a curentului adică, la frecvența de 50 Hz, la $t = \dfrac{T}{2} = 0{,}01$ s din momentul conectării și se determină din (2) prin expresia:

$$i_s = \pm i_{pm} \cdot k_s(T_a), \quad (3)$$

în care $k_s(T_a) = 1 + \exp\left(\dfrac{-0{,}01}{T_a}\right)$ este coeficientul de șoc al curentului, care la încărcare inductivă este $1 < k_s(T_a) < 2$.

În cazul unui scurtcircuit trifazat, cînd componentele periodice pe cele trei faze sînt egale (încărcare simetrică), pe baza ecuației (2) se poate scrie sistemul de ecuații:

$$\begin{aligned} i_A &= i_{pm}\,[\sin(\omega t + \psi_i) - e^{-\alpha t} \cdot \sin \psi_i]; \\ i_B &= i_{pm}\left[\sin\left(\omega t + \psi_i - \frac{2\pi}{3}\right) - e^{-\alpha t} \cdot \sin\left(\psi_i - \frac{2\pi}{3}\right)\right]; \quad (4) \\ i_C &= i_{pm}\left[\sin\left(\omega t + \psi_i + \frac{2\pi}{3}\right) - e^{-\alpha t} \cdot \sin\left(\psi_i + \frac{2\pi}{3}\right)\right]. \end{aligned}$$

Relațiile (4) se mai pot exprima în diverse forme [1], [5], [6], toate fiind echivalente, modificîndu-se numai faza ψ_i pentru curentul i_A, funcție de ψ_u și φ_k.

Se consideră un sistem de trei conductoare rectilinii, paralele, de lungime infinită, situate

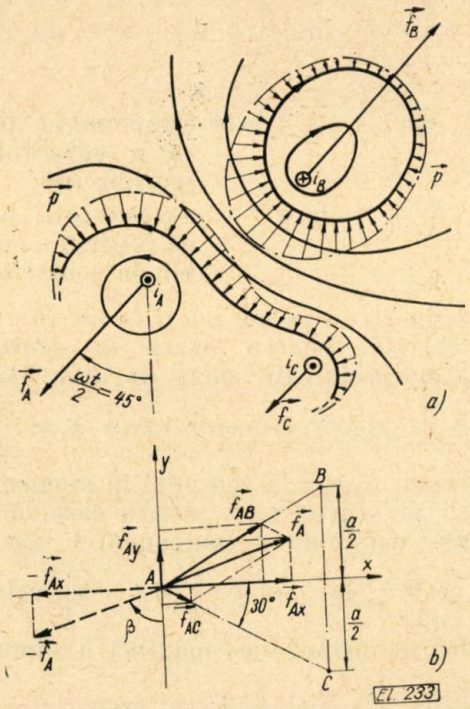


Fig. 1. Solicitările electrodinamice care acționează asupra unui sistem trifazat cu conductoarele situate echidistant în spațiu : *a* – presiunile instantanee p în timp și spațiu ale forței magnetice și direcțiile forțelor electrodinamice rezultante (scurtcircuit la $\psi_i = 90°$, $\omega t = 90°$, și $\alpha = 0$); *b* – diagrama vectorială pentru determinarea ecuației forței care solicită conductorul *A*, considerînd curenții omoparaleli în cele trei conductoare.

reciproc echidistante în spațiu și cu secțiunea relativ redusă, comparativ cu distanța dintre ele (fig. 1).

Forțele electrodinamice care acționează asupra fiecărui conductor variază în timp, atît ca mărime, cît și ca orientare în spațiu, într-un plan perpendicular pe sistemul de conductoare, rezultînd în fiecare moment complexe solicitări mecanice repulsive între faze.

Forța rezultantă specifică (pe unitatea de lungime) instantanee, care solicită transversal, de exemplu, conductorul fazei *A*, sub influența curenților din conductoarele *B* și *C* se obține din :

$$\vec{f}_A = \vec{f}_{AB} + \vec{f}_{AC}, \tag{5}$$

în care :

$$\vec{f}_{AB} = \vec{\sigma}_{AB} \cdot i_A \cdot i_B ; \quad \vec{f}_{AC} = \vec{\sigma}_{AC} \cdot i_A \cdot i_C ;$$

$$\sigma_{AB} = \sigma_{AC} = \sigma_{BC} = \sigma = 2 \cdot 10^{-7} \; a^{-1}, \; N \cdot m^{-1} \; A^{-2}.$$

Considerînd convențional că prin cele trei conductoare curenții au același sens (fig. 1, *b*), atunci conductorul *A* va fi atras către conductoarele *B* și *C* cu forțele $\vec{f}_{AB}$. respectiv $\vec{f}_{AC}$, care se pot descompune în componente ortogonale după axele carteziene ox și oy :

$$\begin{aligned} \vec{f}_{Ax} &= \vec{\sigma} \cdot i_A \; (i_B + i_C) \cdot \cos 30° ; \\ \vec{f}_{Ay} &= \vec{\sigma} \cdot i_A \; (i_B - i_C) \cdot \sin 30°. \end{aligned} \tag{6}$$

Substituind ecuațiile (4) în (6), se obțin mărimile scalare :

$$\begin{aligned} f_{Ax} &= -\sigma \cdot i_{pm}^2 \frac{\sqrt{3}}{2} [\sin(\omega t + \psi_i) - \\ &\quad - e^{-\alpha t} \cdot \sin \psi_i] ; \\ f_{Ay} &= -\sigma \cdot i_{pm}^2 \frac{\sqrt{3}}{2} \Big[\sin(\omega t + \psi_i) - \\ &\quad - e^{-\alpha t} \cdot \sin \psi_i \Big] \cdot [\cos(\omega t + \psi_i) - e^{-\alpha t} \cdot \cos \psi_i]. \end{aligned} \tag{7}$$

Forța rezultantă specifică instantanee în cazul conectării pe scurtcircuit se determină din :

$$f_A = \pm \sqrt{f_{Ax}^2 + f_{Ay}^2}, \tag{8}$$

deci :

$$f_A = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{pm}^2 [\sin(\omega t + \psi_i) - e^{-\alpha t} \cdot \sin \psi_i] \cdot \sqrt{e^{-2\alpha t} - 2e^{-\alpha t} \cos \omega t + 1}. \tag{9}$$

Pe baza expresiilor (4) și (9), notînd cu :

$$\varphi_\lambda(t, \alpha, \psi_i) = \frac{i_\lambda}{i_{mp}}, \; \lambda = A ; B ; C,$$

$$\xi(t, \alpha) = e^{-2\alpha t} - 2 e^{-\alpha t} \cdot \cos \omega t + 1,$$

se determină ecuația generală a forțelor electrodinamice care se exercită pe conductoarele sistemului trifazat, situate echidistant în spațiu, funcție de timp, de amortizare și de faza inițială a curentului i_A, în momentul conectării pe scurtcircuit :

$$f_\lambda = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{pm}^2 \cdot \varphi_\lambda(t, \alpha, \psi_i) \cdot \sqrt{\xi(t, \alpha)}. \tag{10}$$

2. Metode pentru determinarea diagramelor de variație în timp și spațiu a forțelor electrodinamice

Variația ca mărime și direcție în spațiu a forței care solicită conductorul *A* poate fi reprezentată prin diagrama polară a vectorului f_A funcție de timp, cu punctul de aplicație în axa conductorului *A* și cu extremitatea descriind un loc geometric pe o curbă bine determinată. Aceste diagrame de forțe se pot determina prin două metode.

Metoda I-a, mai simplă, denumită de autor „metoda triunghiului dreptunghic", se bazează pe determinarea analitică a forțelor f_{Ax} și f_A din relațiile (7) și (9), cu ajutorul cărora se poate afla unghiul de poziție β, care marchează înclinarea vectorului $\vec{f}_A$ față de axa ordonatelor (fig. 1, *b*). Astfel din $f_{Ax} = f_A \cdot \sin \beta$ se poate scrie :

$$\beta = \arcsin \frac{f_{Ax}}{f_A} = \arcsin \left[\frac{\sin(\omega t + \psi_i) - e^{-\alpha t} \cdot \sin \psi_i}{\sqrt{e^{-2\alpha t} - 2e^{-\alpha t} \cos \omega t + 1}} \right] \quad (11)$$

sau, în general pentru oricare fază :

$$\beta_\lambda = \arcsin \left[\frac{\varphi\lambda(t, \alpha, \psi_i)}{\sqrt{\xi(t, \alpha)}} \right]. \quad (12)$$

Metoda a II-a, denumită de autor „metoda componentelor fictive" se bazează pe calculul a patru vectori de forță fictivi, care însumați algebric vor determina pe cale grafică mărimea forței rezultante și direcția spațială a acesteia față de sistemul de conductoare. Această metodă spre deosebire de prima, permite cunoașterea în profunzime a fenomenelor ce însoțesc solicitările electrodinamice pe durata regimului tranzitoriu funcție de diferite unghiuri de fază inițială ψ_i și scoate în evidență influența diverselor componente ale curenților.

Pentru determinarea celor patru vectori de forță fictivi se pleacă de la ecuația (2), considerînd că fiecare curent tranzitoriu de fază se poate descompune matematic într-o componentă periodică neamortizată și o componentă aperiodică cu factorul de amortizare α. Astfel pentru componentele vectorului $\vec{f}_A$ după sistemul de axe rectangulare *xoy* din (6) se poate scrie :

$$\begin{aligned} \vec{f}_{Ax} &= \vec{\sigma}\,(i_{Ap} + i_{Aa}) \cdot (i_{Bp} + i_{Ba} + i_{Cp} + i_{Ca}) \cos 30^\circ ; \\ \vec{f}_{Ay} &= \vec{\sigma}\,(i_{Ap} + i_{Aa}) \cdot (i_{Bp} + i_{Ba} - i_{Cp} - i_{Ca}) \sin 30^\circ . \end{aligned} \quad (13)$$

După operația de înmulțire și gruparea termenilor într-un mcd convenabil se obține :

$$\begin{aligned} \vec{f}_{Ax} &= \vec{U}_x + \vec{V}_x + \vec{X}_x + \vec{Y}_x ; \\ \vec{f}_{Ay} &= \vec{U}_y + \vec{V}_y + \vec{X}_y + \vec{Y}_y ; \end{aligned} \quad (14)$$

în care :

$$U_x = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{Ap} (i_{Bp} + i_{Cp}) ; \quad U_y = \frac{1}{2} \sigma \cdot i_{Ap} (i_{Bp} - i_{Cp}) ;$$

$$V_x = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{Ap} (i_{Ba} + i_{Ca}) ; \quad V_y = \frac{1}{2} \sigma \cdot i_{Ap} (i_{Ba} - i_{Ca}) ; \quad (15)$$

$$X_x = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{Aa} (i_{Bp} + I_{Cp}) ; \quad X_y = \frac{1}{2} \sigma \cdot i_{Aa} (i_{Bp} - i_{Cp}) ;$$

$$Y_x = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{Aa} (i_{Ba} + i_{Ca}) ; \quad Y_y = \frac{1}{2} \sigma \cdot i_{Aa} (i_{Ba} - i_{Ca})$$

sînt mărimile scalare ale componentelor ortogonale ale vectorilor de forță fictivi corespunzători forței rezultante $\vec{f}_A$, după axele *ox* și *oy*.

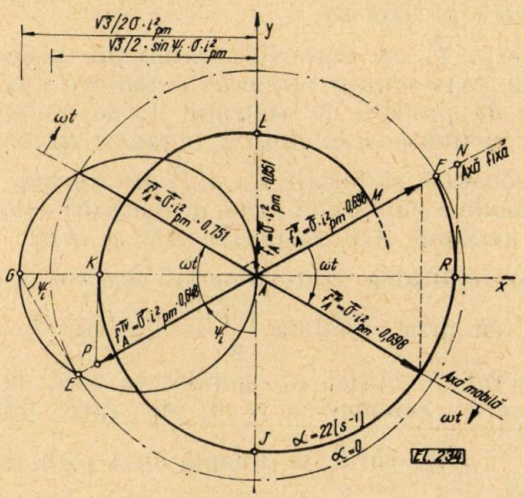


Fig. 2. Construcția grafo-analitică privind metoda componentelor fictive (metoda a II-a), pentru determinarea mărimii și direcției forței electrodinamice rezultante. În figură se ilustrează cazul :
$\omega t = 60°$, $\psi_i = 60°$, $\alpha = 22\ s^{-1}$.

Mărimile scalare ale vectorilor fictivi (în $N.m^{-1}$) se determină cu ajutorul expresiilor (15) :

$$f'_A = \pm \sqrt{U_x^2 + U_y^2} = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{pm}^2 \cdot \sin(\omega t + \psi_i). \quad (16)$$

$$f''_A = \pm \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{pm}^2 \cdot \sin(\omega t + \psi_i) \cdot e^{-\alpha t}, \quad (17)$$

$$f'''_A = \pm \sqrt{X_x^2 + X_y^2} = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{pm}^2 \cdot \sin \psi_i \cdot e^{-\alpha t} \cdot \rho_0, \quad (18)$$

$$f^{IV}_A = \pm \sqrt{Y_x^2 + Y_y^2} = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{pm}^2 \cdot \sin \psi \cdot e^{-2\alpha t}, \quad (19)$$

în care $\rho_0 = \sqrt{\sin^2(\omega t + \psi_i) + \cos^2(\omega t + \psi_i)} = 1$ este modulul versorului de poziție.

În final se obține ca valoare și poziție în spațiu mărimea instantanee

$$\vec{f}_A = \vec{f}'_A + \vec{f}''_A + \vec{f}'''_A + \vec{f}^{IV}_A. \quad (20)$$

Vectorii fictivi derivă din interacțiunile ponderomotoare care au loc între curenții periodici și aperiodici, grupați conform relațiilor din (15). Acești vectori își modifică mărimea și direcția în spațiu funcție de timpul *t*, de faza de curent ψ_i și de factorul de amortizare α și au punctul de aplicație în axa conductorului *A* (fig. 2).

Forța $\vec{f}'_A$ se reprezintă printr-un vector (de argument spațial $(\omega t + \psi_i)$ a cărui extremitate

descrie ca loc geometric un cerc cu diametrul $\overline{AG} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{pm}^2$, situat permanent în domeniul negativ al axei ox.

Forţa $\vec{f}_A''$ se reprezintă printr-un vector a cărui extremitate alunecă în ambele sensuri, faţă de punctul de aplicaţie A, pe o dreaptă fixă înclinată cu unghiul ψ_i în raport cu axa oy. Se constată că forţele $\vec{f}_A'$ şi $\vec{f}_A''$ pe durata unei perioade a curentului ating de două ori valoarea lor maximă $\overline{AG}$, respectiv $\overline{AN}$ şi AP.

Extremitatea vectorului $\vec{f}_A'''$ descrie o spirală cu raza variabilă $\frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{pm}^2 \cdot \sin \psi_i \cdot e^{-\alpha t}$. Punctul F iniţial al spiralei se află la intersecţia cercului $\alpha = 0$, de rază $\overline{AE} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \cdot i_{pm}^2 \cdot \sin \psi_i$ cu dreapta dusă prin A, înclinată cu ψ_i faţă de oy. Rotaţia vectorului $\vec{f}_A'''$ se face în sens orar, iar poziţia lui spaţială este determinată de versorul de poziţie ρ_0, cu argumentul variabil $(\omega t + \psi_i)$. Astfel se constată că vectorii $\vec{f}_A'$ şi $\vec{f}_A'''$ se situează în timp pe aceeaşi dreaptă mobilă cu centrul de rotaţie în A acţionînd în opoziţie în prima semiperioadă a curentului, iar în a doua semiperioadă în acelaşi sens.

Extremitatea forţei fictive $\vec{f}_A^{IV}$ alunecă liniar pe porţiunea negativă $\overline{AE}$ a dreptei fixe, cu înclinaţia ψ_i în raport cu axa oy. Această forţă îşi va păstra direcţia fixă în spaţiu şi sensul repulsiv faţă de conductoarele B şi C.

La finele regimului tranzitoriu (după circa 0,1—0,3 s, cînd influenţa componentei aperiodice este neînsemnată) componentele fictive $\vec{f}_A''$, $\vec{f}_A'''$ şi $\vec{f}_A^{IV}$ se neglijează, rămînînd să acţioneze numai forţa $\vec{f}_A'$, determinată de componentele periodice neamortizate ale curenţilor.

În figura 2 se reprezintă construcţia grafică pentru determinarea lui $\vec{f}_A$ conform metodei a II-a. Punctul F marchează originea spiralei, iar M, valoarea forţei $\vec{f}_A'''$ după o perioadă a curentului. Pe durata tranzitorie proiecţiile pe axa ox a forţelor $\vec{f}_A''$ şi $\vec{f}_A'''$ sînt egale, proprietate ce poate fi utilizată pentru simplificarea calculului, determinînd numai una dintre componente, cealaltă rezultînd pe cale grafică.

3. Forţele electrodinamice în diverse cazuri particulare

a) Cazul $\psi_i = \pm \frac{\pi}{2}$ şi $\alpha = 0$. Considerînd situaţia cea mai defavorabilă cînd se neglijează amortizarea componentei aperiodice a curentului şi cînd curentul periodic prin conductorul A la momentul conectării are valoarea maximă $\left(\text{de exemplu, la } \psi_i = \pm \frac{\pi}{2}\right)$, atunci din (9) se obţine relaţia cunoscută [1]:

$$f_A = \pm 2\sqrt{3} \cdot \sigma \cdot i_{pm}^2 \cdot \sin^3\left(\frac{\omega t}{2}\right), \qquad (21)$$

care însă nu este riguroasă. Mai corect ar fi ca în relaţia (21) i_{pm} să se înlocuiască cu $i_{pmo} = u_m \cdot x_k^{-1} > i_{pm}$, deoarece la $\alpha = 0$, şi $r_k \to 0$. Cum în practică adesea $r_k \ll x_k$ se poate accepta pentru simplificare $i_{pmo} = i_{pm}$.

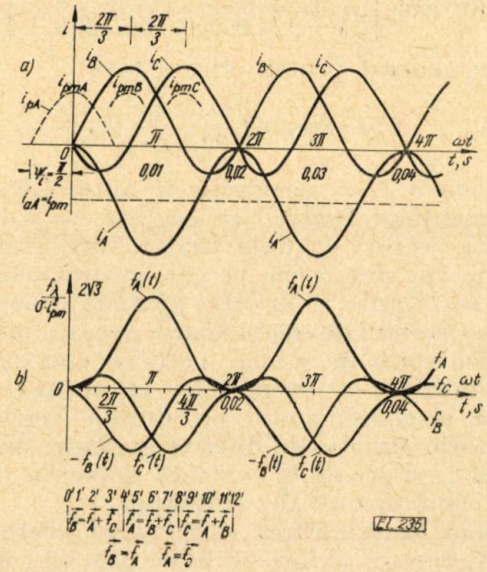


Fig. 3. Variaţia în timp a curenţilor de scurtcircuit (a) şi a forţelor electrodinamice (b) în cazul: $\psi_i = +90°$ şi $\alpha = 0$.

Valoarea minimă a forţei care solicită conductorul A se capătă pentru $\frac{\omega t}{2} = K \cdot \pi$, iar valoarea maximă, pentru $\frac{\omega t}{2} = (1 + 2K)\frac{\pi}{2}$, unde $K = 1, 2, 3, \ldots$, astfel:

$$f_{Amin} = 0;$$

$$f_{Am} = 2\sqrt{3} \cdot \sigma \cdot i_{pm}^2, \text{ N m}^{-1}. \qquad (22)$$

Forţele rezultante specifice care solicită transversal conductoarele B şi C se determină procedînd la fel ca în cazul forţei f_A (relaţiile (6) şi (8), sau din expresia (10) şi se obţine:

$$f_B = \pm \sqrt{3} \cdot \sigma \cdot i_{pm}^2 \sin^2 \frac{\omega t}{2} \left(\sqrt{3} \cdot \cos \frac{\omega t}{2} + \sin \frac{\omega t}{2}\right); \qquad (23)$$

$$f_C = \pm \sqrt{3} \cdot \sigma \cdot i_{pm}^2 \cdot \sin^2 \frac{\omega t}{2} \cdot \left(\sqrt{3} \cdot \cos \frac{\omega t}{2} - \sin \frac{\omega t}{2}\right). \qquad (24)$$

Pentru cazul considerat în figura 3 se reprezintă variaţiile în timp ale curenţilor de scurt-

circuit şi ale forţelor pe cele trei conductoare, iar în figura 4 diagramele tranzitorii de variaţie spaţială în timp a forţelor, situate într-un plan transversal pe sistemul de conductoare paralele echidistante.

În figura 3, *b* intenţionat s-au trasat forţele $\vec{f}_B$ şi $\vec{f}_C$, cu componente negative pentru a se

$$f_B = \pm\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\sigma\cdot i_{pm}^2\,(\sqrt{3}\cdot\sin\omega t - \cos\omega t + e^{-\alpha t})\cdot\sqrt{\xi\,(t,\,\alpha)}; \quad (26)$$

$$f_C = \pm\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\sigma\cdot i_{pm}^2\,(-\sqrt{3}\cdot\sin\omega t - \cos\omega t + e^{-\alpha t})\cdot\sqrt{\xi\,(t,\,\alpha)}. \quad (27)$$

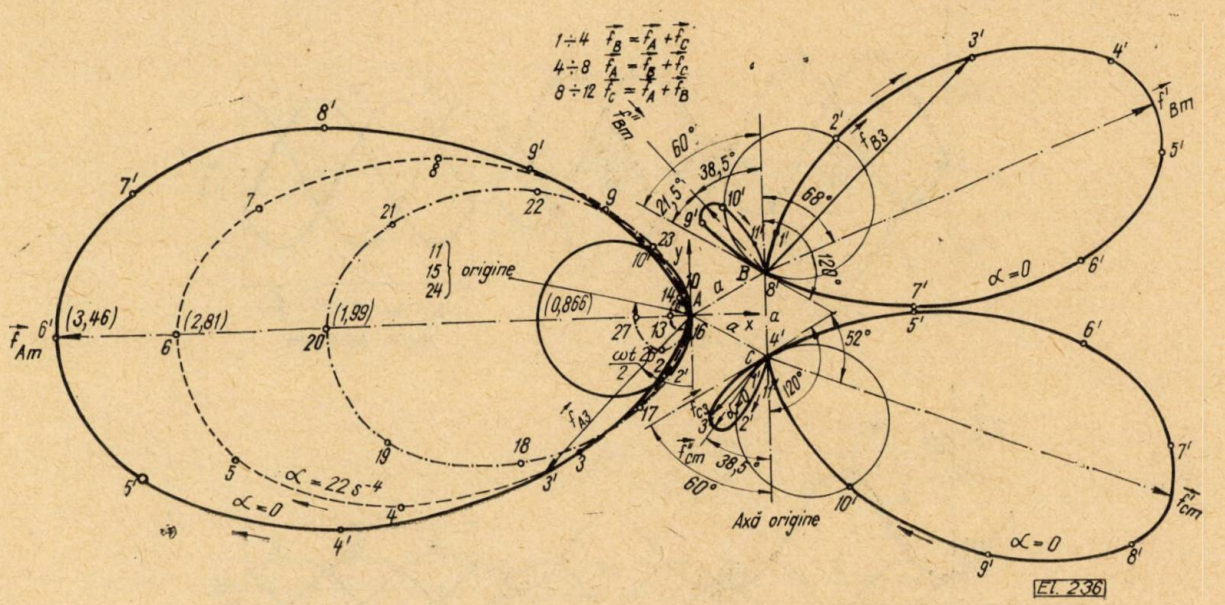


Fig. 4. Diagramele de variaţie în timp şi spaţiu ale forţelor electrodinamice trasate pentru: $\psi_i = +90°$ la $\alpha = 0$ şi $\alpha = 22\ s^{-1}$.

scoate mai bine în evidenţă acţiunile reciproce în timp ale celor trei forţe, ale căror vectori variabili se păstrează în oricare moment pe direcţii paralele care se rotesc simultan în spaţiu (fig. 1 şi 4).

Această manifestare repulsivă între un conductor şi celelalte două, sau numai între două conductoare, cînd prin al treilea curentul este nul, se poate constata pe figurile 3, *b* şi 4, urmărind corespondenţa cifrelor indicate pe grafice. Astfel forţa maximă pe conductorul *A* se obţine pe direcţia *ox* determinată de unghiul geometric de poziţie, egal cu unghiul electric $\beta = \frac{\omega t}{2} = \frac{\pi}{2}$, măsurat de la axa *oy* în sens orar, iar forţele pe conductoarele *B* şi *C* sînt mai reduse, dar mai complexe, diagramele lor fiind compuse din două bucle pronunţate inegale.

b) Cazul $\psi_i = \pm\frac{\pi}{2}$ şi $\alpha \neq 0$. Presupunînd componenta aperiodică a curentului amortizată şi substituind, de exemplu, valoarea lui $\psi_i = +\frac{\pi}{2}$ în relaţiile (9) sau (10) se obţine:

$$f_A = \pm\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\sigma\cdot i_{pm}^2\,(\cos\omega t - e^{-\alpha t})\cdot\sqrt{\xi\,(t,\,\alpha)}; \quad (25)$$

Variaţia amortizată în timp a acestor forţe şi a curenţilor de scurtcircuit prin cele trei conductoare este reprezentată în figura 5, iar diagramele forţelor cu variaţie amortizată pe durata a două perioade ale curentului ($t = 0{,}04$ s) sînt reprezentate în figura 4 la o scară convenabilă.

Pe durata regimului tranzitoriu cu amortizare, unghiul geometric de poziţie β a vectorilor $\vec{f}_A$ nu mai poate fi echivalat cu unghiul electric $\frac{\omega t}{2}$ (aşa cum s-a procedat la $\alpha = 0$) şi nici nu mai are o variaţie în timp uniformă. Se observă din figura 4 că diagramele forţelor $\vec{f}_A$ se reprezintă succesiv prin bucle mari (aproximativ eliptice), care îşi micşorează treptat valoarea maximă după *ox*, alternate de bucle mai mici, de asemenea deformate, care însă îşi măresc progresiv valoarea maximă (se va urmări evoluţia cifrelor pe diagramele forţelor $\vec{f}_A$ din figura 4 de la 0 la 27). La finele procesului tranzitoriu cele două tipuri de bucle ale diagramelor se confundă, locul geometric al forţelor $\vec{f}_A$ devenind un cerc cu diametrul $\frac{\sqrt{3}}{2}\sigma\cdot i_{pm}^2$. În mod asemănător la regim perma-

nent și vectorii $\vec{f}_B$ și $\vec{f}_C$ vor luneca cu extremitatea pe cercuri de același diametru.

c) Cazul cînd ψ_i este variabil și $\alpha \neq 0$. În ecuația (9) introducînd $\psi_i = 0$, $\frac{\pi}{6}$; $\frac{\pi}{3}$; $\frac{\pi}{2}$ și defavorabil. La $\psi_i = +\frac{\pi}{3}$ șocul este mai redus și mai întîrziat, pe cînd la $\psi_i = 0$, pe perioada T a curentului se vor produce două maxime, cel mai mare la momentul $T/3$, con-

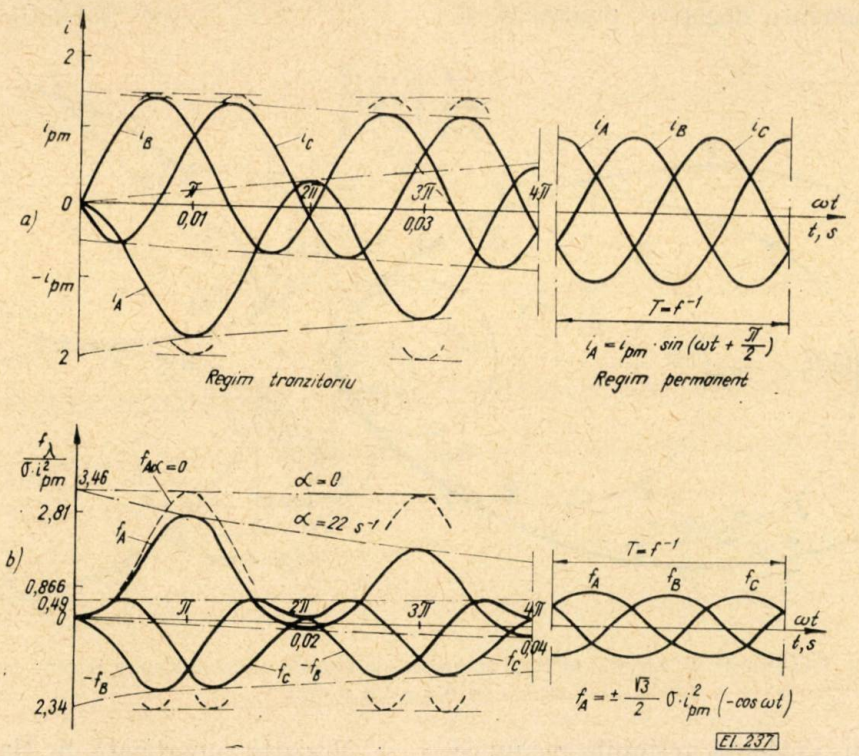


Fig. 5. Variația în timp a curenților de scurtcircuit (*a*) și a forțelor electrodinamice (*b*), pe durata regimului tranzitoriu, în cazul: $\psi_i = +90°$ și $\alpha = 22\ s^{-1}$.

$\frac{2\pi}{3}$, la $\alpha = 22\ s^{-1}$, se obține familia curbelor forțelor electrodinamice care acționează asupra conductorului *A* (fig. 6).

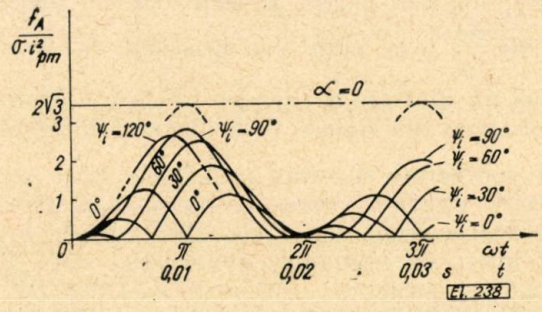


Fig. 6. Variația în timp a forțelor electrodinamice f_A pentru cazul: ψ_i = var. și $\alpha \neq 0$

Se constată că valoarea de șoc cea mai mare a forței pe conductorul *A* se obține pentru $\psi_i = +\frac{\pi}{2}$, putîndu-se considera cazul cel mai stituind circa 43% din șocul la $\psi_i = +\frac{\pi}{2}$.

Pe măsură ce ψ_i crește de la zero, buclele inițiale ale curbelor au valorile maxime din ce în ce mai reduse, iar duratele lor se micșorează. Curba pentru $\psi_i = +\frac{2\pi}{3}$ are o variație de creștere de la zero mai rapidă și un maxim sub cel atins de curba corespunzătoare la $\psi_i = +\frac{\pi}{2}$. Trebuie reținut că pentru $\alpha = 0$, sau $\alpha \neq 0$ cazul cel mai defavorabil al solicitării ponderomotoare pe conductorul A este cel pentru $\psi_i = \pm\frac{\pi}{2}$.

Concluzii

a) Calculul de rezistență mecanică al sistemului de bare echidistante în spațiu se face pentru cazul scurtcircuitului tripolar, cînd forța electrodinamică maximă se produce la șocul de curent de scurtcircuit. Cel mai mare șoc

de curent şi corespunzător cea mai mare forţă electrodinamică se va produce la conductorul de fază în care curentul periodic în momentul conectării pe scurtcircuit are faza iniţială $\psi_i = \pm \frac{\pi}{2}$. În calcule pentru coeficientul de şoc se consideră adesea valoarea $k_s \approx 1{,}8$, mărime care poate fi acceptată numai pentru calculele aproximative.

b) Din analizarea figurilor 3, 4 şi 5 se constată complexitatea fenomenului de solicitare prin forţe electrodinamice la sistemele de conductoare echidistante. Se observă că pe durata regimului tranzitoriu nu se poate vorbi de o variaţie a forţei după o lege sinusoidală simplă sau amortizată, cu frecvenţa constantă. Astfel, la $\alpha = 0$ pe durata unei perioade a curentului forţa exercitată asupra conductorului A, cel mai solicitat, are un singur maximum, iar la scurtcircuit cu $\alpha \neq 0$ forţa oscilează după o curbă nesinusoidală care trece treptat la regim de scurtcircuit permanent, într-o curbă sinusoidală de frecvenţă egală cu dublul frecvenţei curentului. Variaţia diagramelor forţelor pe durata fenomentului tranzitoriu (fig. 4) şi modificarea direcţiei forţelor în timp faţă de axele principale de inerţie fixe ale conductoarelor duc la vibraţii complexe, care necesită studii mai aprofundate.

c) La $\psi_i = \pm \frac{\pi}{2}$ şi $\alpha = 0$ cîmpul magnetic din spaţiul cuprins între cele trei conductoare este oscilant, suferind o semirotaţie de 180° geometrice; la regim permanent cîmpul devine turnant continuu, provocînd rotaţia spaţială a forţelor repulsive pe conductoare, din care cauză succesiv fiecare conductor de fază, pe durata unei perioade a curentului va fi supus de două ori la acţiunea forţei maxime $\frac{\sqrt{3}}{2}\sigma \cdot i_{pm}^2$.

d) Forţele maxime determinate pe diagramele celor trei faze (fig. 4) păstrează un raport constant independent de valoarea curenţilor de scurtcircuit.

e) Din studiul de mai sus se trage concluzia importantă că pentru calculul riguros al stabilităţii electrodinamice se impune o reconsiderare a ipotezelor de calcul actuale, trebuind să se ia în consideraţie atît diagramele forţelor electrodinamice variabile în timp şi spaţiu, cît şi vibraţia foarte complexă a barelor.

Bibliografie

[1] *Babikov, M.A.* Aparate electrice. Partea I (trad. din l. rusă). Bucureşti, Editura energetică de stat, 1953.

[2] *Borcianikov, G.S.* şi *Vîrkovskii, A. Ia.* Elektriceskie harakteristiki triohfaznîh tokoprovodov s provodnikami kruglovo kolţevovo secenia. În: Elektricestvo, nr. 3, martie 1968, p. 1—6.

[3] *Builov, D.I.* Principiile de construcţie ale aparatelor electrice (trad. din l. rusă). Bucureşti, Editura energetică, 1954 (litografiat).

[4] *Dwight, H.B.* Geometric Mean Distances for Rectangular conductors. În: EIEE Trans. **65**, aug-sept 1946, p. 536—538.

[5] *Hortopan, G.* Aparate electrice. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1967.

[6] *Lehmann, W.* Elektrodynamische Beanspruchung paralleler Leiter. În: ETZ-A **76**, nr. 14, 1955, p. 481—488.

[7] *Steinberg, C.* Teoria şi proiectarea aparatelor electrice, vol. I, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1964.

[8] *Titz, G.* Forţe electrodinamice în sisteme trifazate. În: Electrotehnica, nr. 9, 1967, p. 337—342.

[9] *Ulianov, S.A.* Regimurile tranzitorii ale sistemelor electrice (trad. din l. rusă), Bucureşti. Editura tehnică, 1967.

Intrat în redacţie la 23.VII.1968

Grupuri electrogene cu funcţionare automată utilizate ca grupuri de intervenţie

VASILE CREŢA* — Bucureşti

CZ 621.311.163—53.004.4

Asigurarea alimentării cu energie electrică fără întrerupere, sau cu întreruperi de ordinul a cîtorva secunde, a unor sectoare ale activităţii industriale sau publice, impune instalarea în aceste locuri a unor surse de energie electrică de intervenţie care în cazul defectării sursei de energie de bază (care este de obicei reţeaua electrică publică) să preia alimentarea cu energie electrică pentru un anumit timp.

Ca exemplu de astfel de sectoare putem cita:

— spitalele ale căror săli de operaţie nu admit întreruperea alimentării cu energie electrică;

— institutele de cercetări unde întreruperea unei cercetări de lungă durată duce la pierderi considerabile;

— aeroporturile unde întreruperea alimentării staţiilor de semnalizare şi de transmisie duce la accidente grave;

— anumite sectoare ale fabricilor de sticlă şi ale uzinelor metalurgice unde o întrerupere

V. Creţa este inginer proiectant principal la Uzina de maşini electrice Bucureşti.

cît de mică a energiei electrice compromite şarje de materiale de valori foarte mari;

— instituţiile publice cu număr mare de personal, cinematografe, şi marile magazine.

Utilizarea în aceste condiţii a grupurilor electrogene cu pornire manuală (prin apăsare pe buton) este neadecvată, deoarece punerea în funcţionare a acestora necesită un timp prea lung, minimum 3—4 min. În plus, folosirea acestor grupuri impune existenţa în permanenţă a unei persoane care să supravegheze starea reţelei şi în caz de avarie să pornească grupul şi să comute alimentarea consumatorilor la grup.

Pentru aceste motive, în aceste locuri se preferă în majoritatea cazurilor grupuri cu funcţionare controlată automat care, odată instalate, îndeplinesc un anumit program de funcţionare stabilit iniţial, astfel încît să se realizeze continuitatea alimentării cu energie electrică în caz de avarie în condiţiile dorite.

Întreruperea de curent de 13 ore care s-a produs în America în luna noiembrie 1965 a arătat pe de o parte că nu pot exista reţele absolut sigure, iar pe de altă parte că instalarea grupurilor cu funcţionare automată îşi motivează existenţa, chiar dacă intră în funcţiune numai odată la doi sau trei ani.

Pagubele care au rezultat în urma acestei întreruperi de curent au fost foarte mari. După aprecierile specialiştilor americani aceste pagube s-ar fi redus în mod simţitor dacă s-ar fi folosit pe scară largă grupurile de intervenţie cu funcţionare automată [1].

Scopul acestei lucrări este de a face o prezentare a acestor grupuri a căror importanţă s-a reliefat, a încerca o clasificare raţională a lor şi de a stabili principiile care trebuie să stea la baza concepţiei acestor produse. De asemenea, se arată şi realizările deosebite făcute în acest domeniu la noi în ţară.

1. Clasificarea grupurilor electrogene de intervenţie cu funcţionare automată

Pentru a corespunde necesităţilor impuse de diversitatea condiţiilor de exploatare, s-a conceput un număr relativ mare de tipuri constructive şi funcţionale de astfel de agregate. Considerăm judicioasă clasificarea lor după timpul în care aceste agregate preiau în caz de avarie alimentarea consumatorilor. După acest criteriu aceste grupuri le putem clasifica în trei tipuri caracteristice:

— grupuri automate cu intrare temporizată în funcţionare, care preiau alimentarea cu energie electrică a consumatorilor într-o perioadă de timp cuprinsă între 5 şi 20 s.

— grupuri automate rapide ce realizează o continuitate a alimentării doar cu o întrerupere de maximum 0,3 s;

— grupuri automate instantanee care realizează alimentarea consumatorilor fără întrerupere.

Grupurile automate cu intrare temporizată în funcţionare, constructiv, nu diferă de grupurile electrogene neautomate şi se compun, conform figurii 1, dintr-un motor termic *1*, un generator

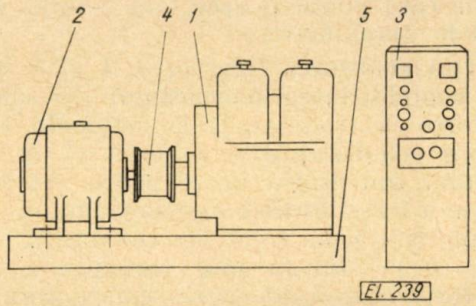


Fig. 1. Grup electrogen cu intrare temporizată în funcţionare: *1* — motor termic; *2* — generator sincron; *3* — panou de comandă; *4* — cuplaj; *5* — platformă.

sincron *2*, şi un panou de comandă *3*. Motorul termic şi generatorul sincron sînt legate mecanic între ele printr-un cuplaj rigid *4* şi sînt montate pe platforma comună *5*.

În cazul folosirii acestor grupuri, consumatorii sînt alimentaţi de la reţea prin intermediul panoului de comandă *3*. Dacă tensiunea reţelei scade sub o anumită valoare iniţial stabilită, cu o anumită temporizare se dă impulsul de pornire a motorului Diesel, iar în momentul în care tensiunea generatorului atinge valoarea nominală se comută alimentarea consumatorilor la grupul electrogen. În momentul în care în reţea se stabileşte valoarea normală a tensiunii, se comută consumatorii la reţea şi se dă impulsul de oprire pentru motor.

Grupurile electrogene automate rapide se deosebesc în mod esenţial atît din punct de vedere constructiv cît şi funcţional, de cele descrise anterior. Un astfel de grup este redat în figura 2 şi se compune dintr-un motor asincron *1*, generatorul sincron *2*, motorul termic *3*, volantul *4*, cuplajul electromagnetic *5* şi panoul de comandă *6*. Toate maşinile sînt montate pe platformă metalică *7*. Prin intermediul panoului de comandă *6*, reţeaua alimentează atît consumatorii cît şi motorul asincron care la rîndul lui antrenează generatorul sincron care funcţionează în gol, volantul şi o parte a cuplajului electromagnetic (fig. 2).

În momentul defectării reţelei, o dată cu întreruperea alimentării consumatorilor de la reţea şi comutarea lor pe grup, se excită cuplajul electromagnetic şi se dă impulsul de pornire pentru motorul Diesel.

Pînă la intrarea în funcţionare a motorului Diesel, volantul antrenează generatorul sincron şi prin intermediul cuplajului electromag-

netic ajută la aducerea cît mai repede a motorului la turaţia nominală.

Întreruperea alimentării cu energie electrică a consumatorilor are loc numai în perioada necesară trecerii contactorului de pe poziţia reţea pe poziţia grup, şi este de maximum 0,3 s. Pînă la intrarea în acţionare a motorului, datorită energie cedate, turaţia acestuia scade, deci şi frecvenţa şi tensiunea generatorului scad. Variaţia acestor mărimi este determinată de masa volantului. Acesta trebuie dimensionat astfel încît variaţia frecvenţei să nu fie mai mare de 3%. La apariţia tensiunii în reţea are de asemenea loc o întrerupere a alimentării cu energie în timpul necesar trecerii contactorului de pe poziţia grup pe poziţia reţea.

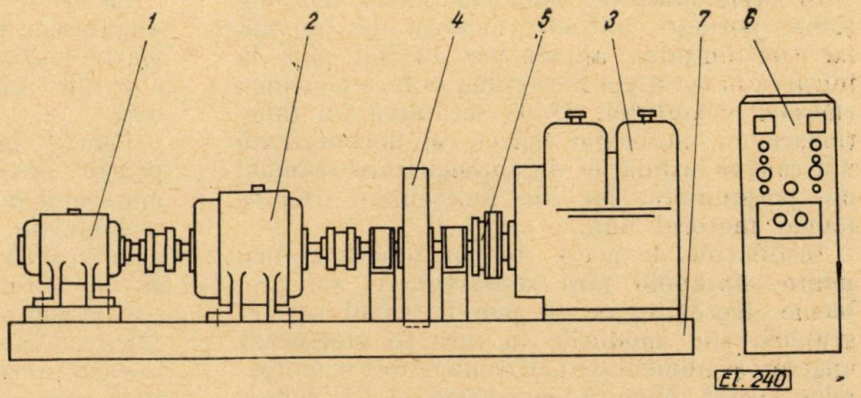


Fig. 2. Grup electrogen automat rapid: *1* — motor asincron; *2* — generator sincron; *3* — motor termic; *4* — volant; *5* — cuplaj electromagnetic; *6* — panou de comandă *7* — platformă metalică.

Puterea motorului asincron într-un astfel de agregat este mică; ea trebuie să acopere doar funcţionarea în gol a generatorului şi pierderile mecanice în rotaţie ale volantului. El nu trebuie dimensionat pentru pornirea volantului, deoarece în acest scop se foloseşte motorul Diesel.

Grupurile automate cu acţiune instantanee din punct de vedere constructiv sînt similare cu grupurile automate rapide cu deosebirea că motorul electric este dimensionat la o putere egală cu puterea necesară consumatorilor, plus aceea necesară pierderilor în generatorul sincron, în volant şi în lagăre.

Indiferent de starea reţelei, consumatorii sînt alimentaţi prin generatorul sincron. Cît timp tensiunea reţelei este normală, generatorul sincron împreună cu volantul sînt antrenate de motorul asincron, iar motorul Diesel este în repaus.

Ca şi în cazul precedent, pînă la intrarea în funcţionare a motorului Diesel, generatorul sincron este menţinut în turaţie de volant.

În cazul întreruperii reţelei, au loc aceleaşi operaţii ca la grupurile automate rapide, numai că nu mai are loc nici cea mai mică întrerupere de curent, ne mai fiind nevoie de comutarea consumatorilor de pe o poziţie pe alta a contactorului.

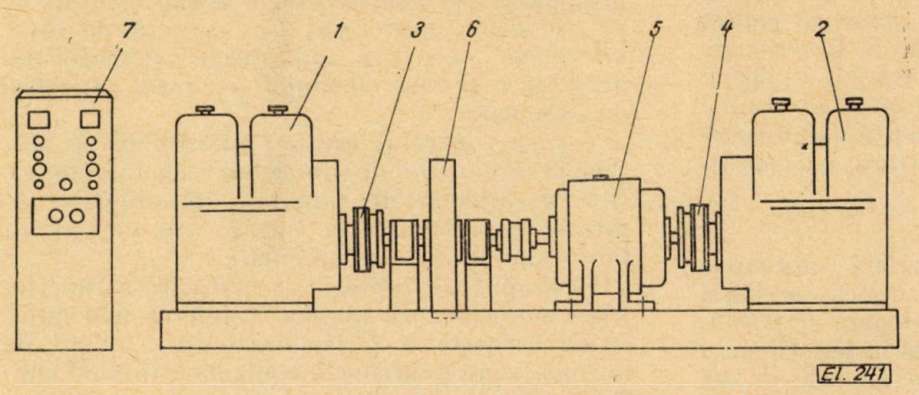


Fig. 3. Grup electrogen automat cu două motoare termice: *1, 2* — motoare termice; *3, 4* — cuplaje electromagnetice; *5* — generator sincron; *6* — volant; *7* — tablou electric.

Pentru alimentarea instalaţiilor amplasate în locuri unde nu există o reţea electrică şi care necesită o alimentare cu energie electrică fără întrerupere, se utilizează grupuri electrogene automate, în esenţă similare cu cele descrise, însă cu motoare termice adaptate unui regim de funcţionare de lungă durată fără supraveghere Un astfel de grup este redat în figura 3 şi se compune din motoarele Diesel *1* şi *2*, cuplajele electromagnetice *3* şi *4* generatorul sincron *5*, volantul *6* şi tabloul electric *7*. Odată cu pornirea motorului *1* se excită cuplajul magnetic *3* şi acesta cuplează motorul la generatorul sincron care alimentează consumatorii prin tabloul electric. Cuplajul magnetic *4* nu este excitat, iar motorul Diesel *2* stă pe loc.

După o anumită perioadă stabilită iniţial, de obicei 75 de ore, un sistem de programare temporizat porneşte motorul *2* şi excită cupla-

jul magnetic *4*, desexcită cuplajul magnetic 3 şi opreşte motorul 1. În această perioadă, alimentarea consumatorilor continuă să se facă fără întrerupere prin acelaşi contactor al tabloului.

În cazul unei defecţiuni a motorului în funcţiune, porneşte automat motorul de rezervă, iar continuitatea alimentării sarcinii pînă la intrarea în turaţie a motorului, se face pe seama energiei volantului. După scoaterea din funcţionare a motorului defect, se deconectează din cadrul instalaţiei de automatizare sistemul de programare, iar în funcţionare rămîne numai motorul bun.

Instalaţiile de acest tip pot funcţiona mai multe săptămîni fără supraveghere. Ca probleme deosebite, ce se pun în cazul acestor grupuri, sînt modurile în care se efectuează ungerea şi alimentarea cu combustibil a motoarelor Diesel, operaţii ce trebuie să fie incluse în sistemul de automatizare.

2. Problemele de bază care se pun la asimilarea grupurilor electrogene automate

Asimilarea grupurilor electrogene automate impune o alegere adecvată a elementelor sale componente şi un studiu amănunţit al adaptărilor ce trebuie aduse acestor elemente pentru a se putea integra în condiţiile de funcţionare automată impuse. Vom face aceasta, analizînd pe rînd elementele de bază ce intră în componenţa grupurilor electrogene, adică : motoarele termice, sistemele de automatizare şi generatoarele sincrone.

A. Motoarele termice

Ca motoare termice, se preferă motoarele Diesel, datorită faptului că acestea prezintă o mai mare siguranţă în funcţionare şi posibilităţi mai mari de intrare rapidă în funcţionare.

Motoarele cu benzină, în special cele în doi timpi, la o umiditate relativă mare a aerului sau la temperaturi scăzute nu au o pornire suficient de sigură, fapt pentru care nu se recomandă să se folosească în aceste scopuri.

Răcirea motoarelor Diesel trebuie aleasă în funcţie de locul de utilizare. Pentru grupurile ce se montează în încăperi închise se preferă motoarele răcite cu apă.

Pentru locurile unde evacuarea aerului cald nu prezintă o problemă şi în special pentru grupurile cu o putere sub 50 kW se indică folosirea motoarelor cu răcire cu aer, acestea fiind mai simple şi mai uşor de întreţinut [2]. Un dezavantaj al folosirii acestor motoare îl constituie însă zgomotul mare pe care îl produc în funcţionare.

Ca sistem de pornire a motoarelor se preferă pornirea electrică deoarece se poate include mai uşor în schema de automatizare a instalaţiei. În acest caz, bateriile acumulatoare pentru pornirea demarorului se utilizează şi pentru alimentarea reţelei de curent continuu necesară sistemului de automatizare.

Pornirea cu aer comprimat introduce în plus în complexul grupului un compresor a cărui funcţionare trebuie inclusă în sistemul de automatizare a grupului.

Cu toate complicaţiile ce intervin, pentru asigurarea pornirii agregatelor cu o putere foarte mare, se indică folosirea concomitentă a pornirii electrice şi a pornirii cu aer comprimat.

Pentru micşorarea timpului de pornire şi pentru crearea posibilităţii de încărcare a motorului fără nici un pericol la numai cîteva secunde de la pornire, se impune preîncălzirea apei şi a uleiului. Pentru aceasta este necesar să se studieze în prealabil, pentru fiecare tip de motor, temperaturile optime de preîncălzire. Preîncălzirea apei şi a uleiului se realizează în condiţii optime cu radiatoare electrice alimentate în curent alternativ.

Funcţionarea lor se include în sistemul de automatizare a grupului. În scopul opririi automate a motorului, se impune adaptarea la motor a doi electromagneţi, unul cu acţiune asupra alimentării cu combustibil, iar celălalt asupra gurii de aer a motorului. Angrenarea pinionului demarorului cu coroana dinţată de pe volantul motorului se asigură de către un releu care se adaptează demarorului de pornire şi care comandă repetarea operaţiei de angrenare.

Pentru controlul turaţiei motorului, se ataşază la regulatorul de turaţie un releu tahometric care în schema de comandă dă impulsul de intrare a motorului în turaţie sau de oprirea motorului în caz de ambalare.

În scopul posibilităţii de urmărire a funcţionării motorului, se impune studierea mărimilor fizice necesare a fi încadrate în sistemul de automatizare pentru a fi controlate în mod continuu. Aceste mărimi variază de la caz la caz, după importanţa utilizării şi după puterea motorului.

— Pentru grupurile cu o putere cuprinsă între 100 şi 200 kVA, care sînt considerate ca cele mai des întîlnite în exploatare, se impune controlul : temperaturii maxime a apei ; temperaturii minime a apei ; presiunii uleiului ; nivelului minim al apei, nivelului minim de combustibil ; ambalării motorului şi al pornirilor nereuşite.

— Pentru grupurile şi mai mari, se mai adaugă şi controlul temperaturii uleiului şi al debitului apei de răcire.

Controlul acestor mărimi impune, evident, adaptarea în construcţia motorului, a aparatului adecvat.

B. Sistemul de automatizare

Sistemul de automatizare este evident determinat de condiţiile de funcţionare impuse grupului, fapt pentru care el diferă de la un tip de grup automat la altul.

În acest articol se tratează numai despre caracteristicile principale care trebuie realizate de sistemul de automatizare a grupurilor cu intrare temporizată în funcțiune, cele mai des întîlnite în practică.

Operațiile de bază care trebuie realizate de un astfel de sistem sînt următoarele:

— urmărirea valorii tensiunii din rețea;

— menținerea motorului în stare gata de pornire;

— pornirea și oprirea motorului;

— conectarea și deconectarea consumatorilor la grup;

— semnalizarea avariilor ce au loc la motor și generator și protecția de avarie;

— încărcarea bateriilor de acumulare.

La grupurile de putere mai mare se mai include sincronizarea și conectarea în paralel a mai multor grupuri și repartizarea sarcinii active și reactive.

Dacă urmărirea tensiunii rețelei nu prezintă probleme dificile, aceasta putîndu-se efectua ușor de către un releu de tensiune, modul în care se realizează pornirea motorului trebuie analizat cu foarte multă atenție, deoarece atît asigurarea pornirii, cît și efectuarea ei în timpul foarte scurt impus, sînt operații foarte dificile.

Impulsul de pornire a motorului Diesel trebuie să fie dat cu o întîrziere care variază între 1 și 3 s și aceasta datorită faptului că în rețea au loc foarte multe căderi brusce de tensiune ce sînt refăcute imediat. O pornire a motorului Diesel într-o astfel de situație este inutilă. Dacă pornirea motorului nu are loc la primul impuls, se impune repetarea comenzii de pornire.

Se apreciază că în cazul în care motorul nu prezintă deficiențe, pentru asigurarea pornirii sînt necesare doar trei impulsuri de pornire cu cîte o pauză între ele de cîte 5 s [1]. În cazul în care motorul nu pornește, trebuie să se semnalizeze defecțiunea ce face imposibilă pornirea motorului.

Succesiunea proceselor elementare de pornire ce sînt comandate automat, trebuie să fie analoge celor ce ar fi efectuate manual de un operator competent. Comutarea consumatorilor la grup se face numai cînd tensiunea generatorului a atins valoarea nominală și dacă în acel moment se menține lipsa tensiunii în rețea. Comanda de oprire a motorului trebuie să aibă loc la apariția tensiunii în rețea și în cazul apariției unei avarii împotriva cărora motorul nu este protejat. Oprirea motorului în cazul în care a apărut tensiunea în rețea fără ca grupul să fi preluat încă sarcina, trebuie să se facă după cîteva minute, perioadă în care avem siguranța că tensiunea în rețea s-a restabilit definitiv. Se impune aceasta, deoarece restabilirea tensiunii în rețea se face de foarte de multe ori cu cîteva restabiliri și căderi brusce succesive de tensiune.

Operațiile de oprire a motorului în cazul în care grupul a funcționat în sarcină, impune trei comenzi succesive. În prima fază trebuie să se comande deschiderea întreruptorului de grup și să se lase grupul să funcționeze în gol cîteva minute pentru stabilizarea temperaturilor relativ mari din motor, în special cele de la capetele cilindrilor. În a doua fază se dă semnalul de oprire, după care în ultima fază se refac circuitele de comandă pentru a face posibilă o nouă pornire.

Semnalizarea și protecția de avarie are loc în cazurile în care mărimile fizice care determină funcționarea motorului și a generatorului depășesc anumite valori ce sînt considerate ca anormale.

În funcție de influența regimului de avarie asupra continuării funcționării agregatului, sistemul de automatizare trebuie fie să semnalizeze acustic și optic apariția și natura deranjamentului, fie să oprească imediat grupul, indicînd și în acest caz la panoul de comandă natura deranjamentului apărut.

Protecțiile trebuie să acționeze pentru opirea motorului la următoarele regimuri de avarie: presiunea prea mică a uleiului, temperatura prea mare a apei de răcire, ambalarea motorului, scăderea nivelului de apă în sistemul de răcire și supraîncălzire a uleiului.

Semnalizarea regimului de avarie fără oprirea grupului trebuie să se efectueze în cazurile în care continuarea funcționării grupului nu duce la o deteriorare imediată.

Utilizarea procedeului de oprire este în funcție de gravitatea defecțiunii. Oprirea în cazul avariilor grave cum ar fi ambalarea motorului și scăderea presiunii uleiului trebuie să se facă brusc prin astuparea gurii de aer a motorului. Oprirea motorului, în cazul celorlaltor avarii se face prin întreruperea alimentării cu combustibil.

Protecția de avarie nu trebuie însă să prejudicieze siguranța alimentării consumatorilor de la grupul electrogen. Pentru acest motiv trebuie să se prevadă posibilitatea scurtcircuitării protecției de avarie cu excepția circuitului ce comandă oprirea motorului în caz de ambalare.

În cazul scurtcircuitării circuitelor de avarie, la apariția unei avarii în timpul funcționării grupului, se va semnala aceasta optic și acustic însă motorul nu se va opri. Funcționarea grupului în acest caz trebuie urmărită de către un operator pînă în momentul în care se creează posibilitatea opririi motorului.

Încărcarea bateriilor de acumulatoare necesare a fi menținute riguros la o anumită tensiune, se face de regulă printr-un transformator stabilizator coborîtor și o punte redresoare cu diode de seleniu sau de siliciu. Funcționarea automată a acestui dispozitiv trebuie să fie determinată de nivelul de încărcare al bateriei.

Sistemul de automatizare trebuie să mai realizeze pe lîngă funcţionarea automată şi posibilitatea unei funcţionări manuale şi a unei funcţionări automate de probă.

La funcţionarea manuală, manevrele de pornire şi de oprire ale motorului şi acelea de închidere sau de deschidere a întreruptoarelor de reţea şi de grup trebuie să se facă cu aparate de manevră cu comandă manuală prevăzute în acest scop pe tabloul de comandă.

La funcţionarea automată de probă, manevrele de pornire şi de oprire ale motorului trebuie să se facă prin comandă manuală, iar închiderea şi deschiderea întreruptoarelor de reţea şi de grup să se facă automat.

Pentru mărirea siguranţei în exploatare a grupurilor electrogene se impune realizarea schemelor de automatizare cu un număr minim de relee, deoarece funcţionarea acestora prezintă în exploatare cele mai multe deficienţe.

Rezultate foarte bune în acest sens s-au obţinut prin utilizarea în schemele de automatizare a unor programatoare care în esenţă sînt compuse dintr-un servomotor ce antrenează un ax cu came. În acest caz o bună parte din contactele necesare a se efectua de către relee sînt efectuate la comandă de către contactele axului cu came.

C. Generatorul sincron

Stabilitatea tensiunii generatorului impusă de condiţiile de funcţionare, cît şi funcţionarea de lungă durată fără o supraveghere continuă, a impus de la început folosirea pe scară largă a generatoarelor sincrone autoexcitate şi cu autoreglarea tensiunii.

În ultimii ani, în scopul măririi şi mai mult a siguranţei în exploatare s-a impus folosirea generatoarelor sincrone fără inele colectoare şi fără perii de contact, prevăzute cu sisteme perfecţionate de autoreglare a tensiunii în circuit închis.

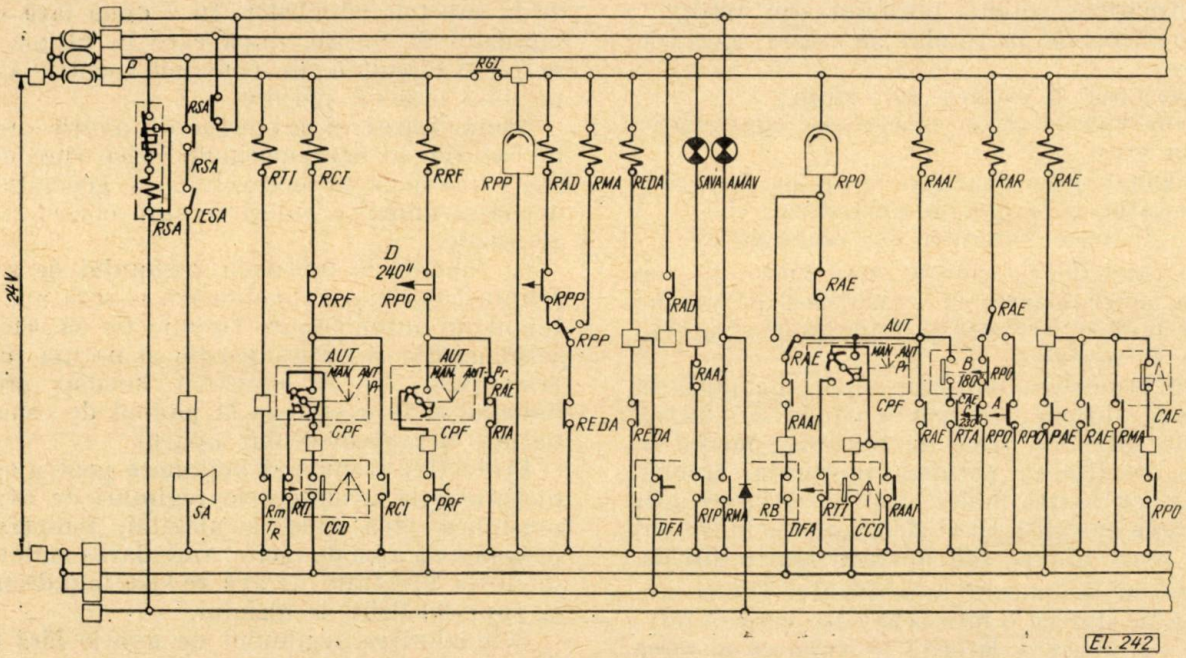


Fig. 4. Schema parţială a sistemului de automatizare pentru grupul electrogen de 125 kVA.

3. Realizări de grupuri electrogene automate la noi în ţară

La Uzina de Maşini Electrice Bucureşti (în colaborare cu firma Isotta Fraschini e Motori Breda Italia) se execută grupuri electrogene automate de 125 kVA cu intrare temporizată în funcţiune. Grupul preia alimentarea consumatorilor după un interval de timp de 5—6 s din momentul în care tensiunea din reţea a scăzut sub 80% din valoarea nominală.

În figura 4, este redată parţial schema electrică a acestui grup în scopul analizării modului judicios în care s-a rezolvat problema pornirii şi opririi motorului, folosindu-se releele programatoare *RPO* şi *RPP*.

La căderea tensiunii reţelei, intervenţia grupului este declanşată ca urmare a dezexcitării releului cu acţiune temporizată *RTI* prin intermediul releului de tensiune minimă a reţelei *RmTR* (nefigurat în schemă) şi care are ca urmare închiderea circuitului releului *RCI* (prin intermediul contactelor releului *RTI* cu temporizare la închidere). Temporizarea releului *RTI* evită pornirea grupului electrogen în caz de întreruperi de scurtă durată. Acţionarea releului *RCI* duce la punerea sub tensiune a cablului *P* la care sînt conectate majoritatea releelor din circuitul de comandă printre care şi releele *RAD* şi *RPP*. Intrarea în funcţiune

a releului *RAD* are drept consecință închiderea circuitului de pornire a demarorului care pune în funcțiune motorul Diesel.

La turația la care demarajul motorului este asigurat, releul tahometric *DFA* care este montat pe motor intră în acțiune și închide circuitul bobinei releului *REDA* care la rîndul lui deschide bobina releului *RAD*, operația de pornire fiind astfel terminată.

Dacă motorul nu a pornit la primul impuls, comanda demarorului va fi repetată de trei ori datorită acțiunii releului *RPP* care după cum am arătat mai sus este pus sub tensiune odată cu releul *RAD*. Acesta, prin contactele sale în serie cu bobina releului *RAD* menține acest releu excitat pentru trei perioade de circa 10 s cu două perioade de pauză a cîte 5 s. In cazul în care nici după perioada a treia motorul nu a pornit, deci aproximativ după 45 s intervine contactul de comutare a releului *RPP* care provoacă excitarea releului *RMA* ce comandă semnalizarea optică și acustică de pornire nereușită. Semnalul de oprire este dat de apariția tensiunii în rețea prin intermediul releului *RTI* care, anclanșînd pune sub tensiune releul de acțiune instantanee *RAAI* și releul programator *RPO*.

Releul *RAAI* prin contactele sale deschide întreruptorul de grup și întrerupe circuitul care semnalizează funcționarea grupului.

Releul *RPO* prin contactul său *B* excită releul *RAR*. Acesta la rîndul său excită electromagnetul de pe grup care comandă oprirea motorului. Acționarea contactorului *B* se face cu o întîrziere de 180 s. Cu contactul *C*, al releului *RPO* cu o întîrziere de 230 s se întrerupe circuitul releului *RAR*, iar cu contactul *D* care acționează cu o întîrziere de 240 s se excită releul *RRF* pentru reanclanșarea circuitelor de comandă.

Schema permite o oprire de urgență ce poate fi comandată manual prin intermediul butonului *PAE* sau în mod automat de dispozitivul de protecție a grupului.

Grupul este protejat împotriva temperaturii excesive a apei în circuitul de răcire, împotriva presiunii insuficiente a uleiului și a ambalării motorului.

Încălzirea preliminară a apei și a uleiului, precum și încărcarea bateriei de acumulatoare se face automat de la rețeaua de curent alternativ.

Prin comutatorul de poziții *CPF* grupul permite pe lîngă funcționare automată, o funcționare automată de probă și o funcționare comandată complet manual.

4. Concluzii

Din lucrare rezultă următoarele :

— utilizarea grupurilor electrogene automate ca grupuri de intervenție în anumite sectoare industriale și publice este absolut necesară din punct de vedere economic ;

— în lucrare s-a dovedit că grupurile cu funcționare automată pot fi clasificate după timpul în care preiau în caz de avarie alimentarea consumatorilor în trei tipuri caracteristice adică : grupuri automate cu intrare temporizată în funcționare, grupuri automate rapide și grupuri automate instantanee, fiecare descris în lucrare ;

— la asimilarea acestor tipuri de grupuri adaptarea motorului la regimul de funcționare impus devine o problemă de prim ordin ;

— calitatea sistemului de automatizare este în mare măsură determinată de realizarea lui cu un număr minim de relee ;

— deși, datorită complexității lor, grupurile automate impun cheltuieli de investiții mai mari decît grupurile electrogene neautomate, în realitate, în exploatare ele sînt mai ieftine, atît datorită faptului că nu necesită personal de serviciu permanent, cît și faptului că anihilează întreruperile de curent ce duc la pagube materiale foarte mari.

Bibliografie

[1] *Wolfgang, S.* Grupuri de intervenție. În : EMA, *45*, nr. 10, oct 1966.

[2] *Rathmann, F.* Tipuri constructive de grupuri electrogene și utilizarea lor. În : Elektrotechnik Industrie-Betrieb nr. 12, apr 1964.

Intrat în redacție la 30. XII. 1968

Controlul calității fabricației aparatajului de înaltă tensiune

ȘTEFAN CGREZEANU* — Craiova

CZ 621.312:621.316.56.027.7.(04 2

Fabricația de aparate electrice de înaltă tensiune a cunoscut unul din cele mai mari ritmuri de dezvoltare din industria electrotehnică din țara noastră. Dezvoltarea fabricației, marcată — de exemplu — prin creșterea tensiunii nominale a echipamentului produs, a cunoscut o evoluție rapidă: de la aparatele simple de 6 kV produse în 1951 la cele de 110 kV, în 1957 și apoi la aparatele de 220 kV din 1966, prevăzînd pentru 1970 livrarea aparatelor de comutație și de măsură de 400 kV. O evoluție continuă a tuturor parametrilor constructivi și funcționali a fost asociată creșterii tensiunii nominale. Toate acestea au avut loc odată cu o creștere și mai rapidă a volumului producției; față de 1960 s-a produs în 1967 de patru ori mai mult iar pentru 1970 s-a prevăzut o creștere de circa nouă ori.

Aceste sarcini crescînd în mod special după anul 1960, au impus construirea la Uzina Electroputere a unei noi fabrici de aparate electrice de înaltă tensiune — înzestrată cu utilaje de pregătire și montaj de înaltă tehnicitate, specifice producției de aparataj — în care producția este organizată în flux continuu. Asigurarea execuției aparatelor la performanțele tehnice prescrise, a impus ca alături de o dotare și pregătire tehnologică completă să existe și un sistem corespunzător de control al calității.

Prezentarea acestui sistem de control, din punct de vedere tehnic și organizatoric, cum și a unor metode speciale de control, constituie obiectul acestei lucrări .

1. Cerințele tehnice și organizatorice

La proiectarea sistemului de control s-au avut în vedere:

— specificul producției de serie mijlocie, nomenclatorul produselor și nomenclatorul parametrilor de verificat, din care au rezultat construcția, parametrii și numărul utilajelor de control;

— îndeplinirea funcțiunilor controlului calității conform legislației în vigoare, din care a rezultat schema de control și dispunerea utilajelor de control în fluxul de fabricație.

1.1. Nomenclatorul principalelor verificări de fabricație

Controlul calității fabricației are ca scop verificarea realizării anumitor parametri funcționali impuși prin normele produselor, prevenirea, depistarea și înlăturarea eventualelor defecțiuni de fabricație.

Pe lîngă verificarea îndeplinirii condițiilor constructive, nomenclatorul verificărilor de serie (fabricație) mai conține în principiu verificările menționate în continuare.

a) Pentru aparatele de comutație [1], [2], [3]:

— verificarea mișcării contactelor (curse, viteze, timpi de acționare, amortizare, interblocare etc.);

— verificarea stării contactelor (starea pieselor de contact, presiunea în contact etc.). Cu ocazia acestor probe se efectuează reglajele necesare;

— verificarea stării izolației circuitelor principale și secundare. Cu această ocazie se înlocuiesc piesele a căror izolație a fost eventual deteriorată în timpul fabricației.

b) Pentru aparatele de pornire, reglaj și pentru celulele prefabricate [4], [5], [6], [7]:

— verificarea valorilor treptelor de rezistență și a raportului de transformare;

— verificarea funcționării comutatoarelor, limitatoarelor de cursă și a releelor de protecție din componență;

— verificarea izolației circuitelor principale și secundare.

c) Pentru aparatele de protecție [8], [9], [10]:

— verificarea parametrilor elementului de protecție (rezistențe ochmice, spații disruptive etc.);

— verificarea izolației.

d) Pentru transformatoarele de măsură [11], [12]:

— verificarea polarității și a rezistențelor înfășurărilor;

— trasarea curbei de magnetizare;

— determinarea erorilor de transformare.

Cu această ocazie se efectuează corecțiile necesare încadrării în clasa de precizie impusă:

— verificarea izolației înfășurărilor de înaltă și joasă tensiune. Se determină eventualele defecte de fabricație și gradul de uscare a izolației. Utilajele necesare executării acestor probe sînt descrise la punctele 2 și 3.

1.2. Sarcinile și organizarea rețelei de control

Activitatea sistemului de control al calității din uzina constructoare cuprinde următoarele trei faze principale:

— verificarea materialelor, reperelor și subansamblurilor primite din exterior, înainte a intrării lor în fabricație, în scopul eliminării surselor de defecțiuni ulterioare — care constituie faza de recepție a materialelor;

— verificarea reperelor și subansamb
timpul fabricației și montajului în

* *St. Ogrezeanu* este inginer principal electrotehnic la serviciul control tehnic al Uzinelor Electroputere-Craiova.

pectării toleranțelor dimensiunilor, calității suprafețelor și a funcțiunilor proprii. Totalitatea acestor operații formează faza de control intermediar (interfazic);

— verificarea produselor complet montate în scopul studierii, funcționării și a efectuării rodajului pentru a garanta livrarea acestora la parametrii contractuali, constituind faza finală de control.

Faza de recepție a materialelor cuprinde un nomenclator complex de operații de verificare, complexitatea fiind dată de marea varietate a materialelor și subansamblurilor de verificat. Operațiile de control ale fazelor intermediară și finală sînt prezentate la pct. 1.1.

Cunoscînd fazele de control și nomenclatorul verificărilor și ținînd seamă de condițiile fabricației aparatelor electrice de înaltă tensiune, s-au înființat următoarele categorii funcționale de posturi de control:

— posturi mobile de control. Sînt utilaje mobile destinate pentru una sau cel mult două operații de control intermediar, deservite de cîte o singură persoană. Utilajele se deplasează și se folosesc la locul de execuție a pieselor sau de montaj al subansamblurilor;

— posturi fixe de control, constituite din mai multe utilaje dispuse în spații special amenajate. Utilajele sînt deservite de 1—2 persoane și sînt destinate executării mai multor operații de control intermediar sau final. Obiectele de verificat sînt aduse în aceste puncte fixe de control;

— standuri de încercări (categorie specială de posturi fixe), sînt constituite din mai multe utilaje de control dispuse în spații amenajate în mod deosebit și deservite de mai multe persoane cu calificare ridicată. Standurile servesc la efectuarea tuturor probelor finale de serie, cum și a unor probe speciale (de recepție), asupra anumitor categorii de produse.

În posturile de control se constată realizarea anumitor parametri constructivi sau funcționali, verificările avînd caracter preventiv numai dacă obiectul verificat suferă în continuare și alte operații tehnologice; în caz contrar, verificările — în special cele finale — au drept scop „a admite" sau „a respinge" obiectul verificat. Pentru a întări caracterul preventiv al activității de control, în anumite ateliere, sînt destinate persoane (cu temeinică experiență practică) care supraveghează execuția și corectează — pe loc — abaterile constatate. Evident că, odată cu perfecționarea tehnologiei de fabricație și a specializării muncitorilor, aceste persoane nu vor mai fi necesare.

Rețeaua de control descrisă este ilustrată în figura 1.

Se poate observa că cele trei faze principale de control corespund, ca reprezentare în figură, celor trei faze mari de fabricație: primire și debitare materiale; confecționare piese; montaj. Se constată că distribuția posturilor de control corespunde de asemenea acestor faze de fabricație: în atelierele pregătitoare predomină controlorii supraveghetori, în cele de montaj — pe măsura avansării montajului — ponderea trece de la posturile mobile la cele fixe, urmînd ca în final produsele să suporte verificările din standuri.

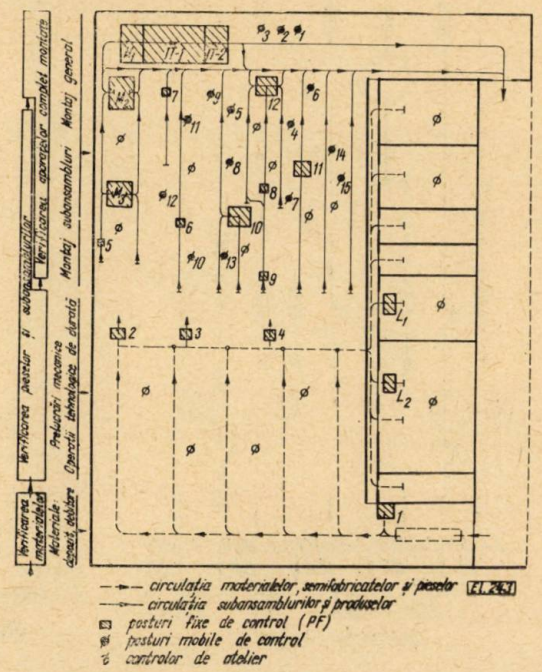


Fig. 1. Dispunerea posturilor de control în fluxul de fabricație:

Posturi fixe de control (P.F.): *1* — recepție materiale și piese; *2,3,4* — verificări prelucrări mecanice; *5* — verificări miezuri magnetice; *6,7,8* — verificări hidraulice; *9* — sortare fuzibile; *10* — verificări separatoare *MT*; *11* — verificări aparate de pornire; *12* — verificări întreruptoare *MT*; *IT—1* — stand 600 kV; *IT—2* — stand 125 kV; *M1,2,3* — standuri pentru transformatoare de măsură *L 1.2*, — laboratoare chimice.

Posturi mobile de control (PM): *1,2,3*, — verificări întrerupătoare *IT*; *4,5,6* — verificări întrerupătoare *MT*; *7, 13* — verificări separatoare *MT*; *8,9,10,11* — veerificări dispozitive de acționare; *12* — verificări separatoare *IT*; *14, 15* — verificări celule prefabricate.

2. Descrierea posturilor de control

2.1. Posturi mobile

Nr. 1, 2 și 3 sînt destinate verificării caracteristicilor mecanice ale întreruptoarelor la tensiunea de 110 și 220 kV. Ele sînt echipate cu cîte un pupitru conținînd aparate de reglarea tensiunii (ca surse), de comandă și măsură. Schema principală a unui astfel de pupitru este dată în figura 2. Măsurarea curselor și vitezelor se bazează pe metoda înregistratorului cu tambur. Măsurarea timpilor de funcționare se realizează cu secundometre electronice, care sînt numărătoare de impulsuri cu frecvență riguros constantă. Numărul de impulsuri însumate este determinat de momentul de la darea comenzii asupra întreruptorului pînă la atingerea (separarea) contactelor acestuia. Imaginea generală a unui post de control de acest tip este dată în figura 3.

Nr. 4, 5, 6, 8, 9, 10 și 11 sînt destinate verificării întreruptoarelor de medie tensiune, a dispozitivelor de acționare și a separatoarelor de sarcină, pe bandă de montaj. Se are în vedere numai verificarea caracteristicilor mecanice. În acest scop se folosesc pupitre, a căror

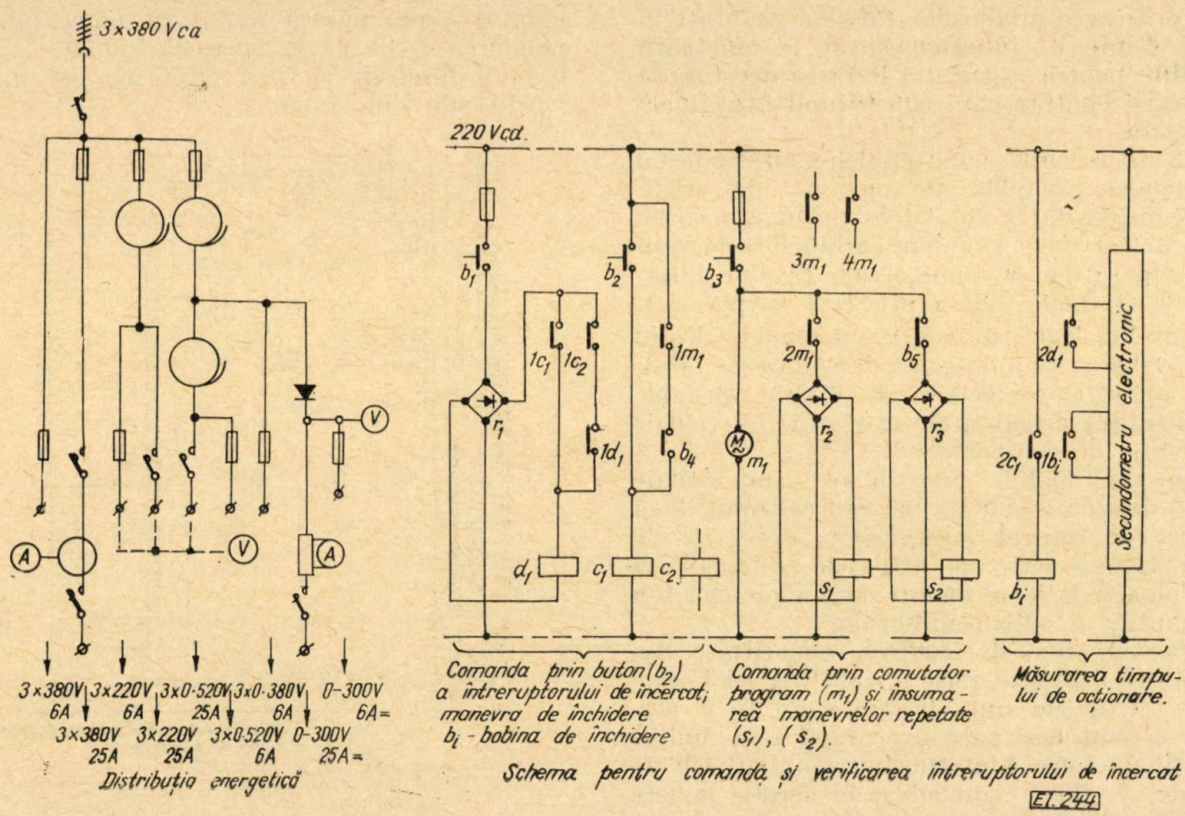


Fig. 2. Schema principială a pupitrului pentru verificarea întreruptoarelor de înaltă tensiune (110—220 kV).

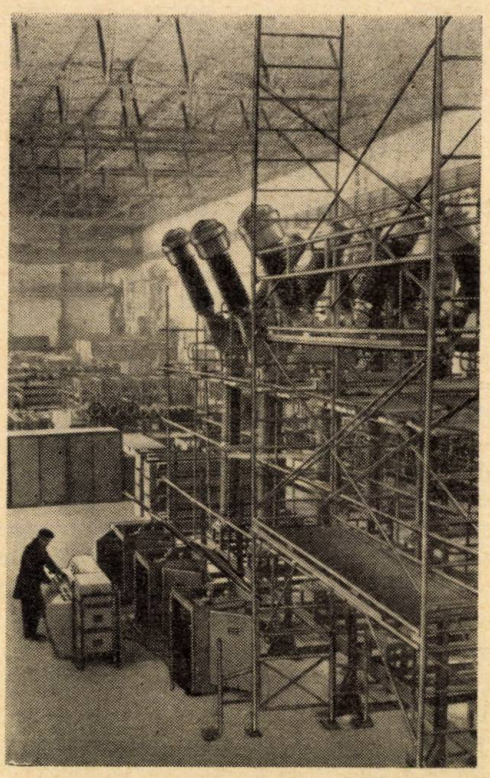


Fig. 3. Postul mobil nr. 1. Verificarea întreruptorului IO-220.

schemă principială este asemănătoare cu aceea din figura 2. Pentru probarea întreruptoarelor se folosesc dispozitive de acționare de tipul folosit în exploatare, special destinate pentru probe, iar pentru probarea dispozitivelor de acționare se folosesc — drept cuplu rezistent — întreruptoare de tipul celor din exploatare sau dispozitive echivalente.

Nr. 7, 12 și 13 servesc pentru verificarea stării contactelor separatoarelor, pe banda de montaj, cu instalații mobile de măsurare a căderii de tensiune în contact.

Nr. 14 și 15 sînt posturi constituite din mai multe utilaje pentru verificări electromecanice, necesare verificării complete a celulelor prefabricate de înaltă tensiune. Un sistem mobil de delimitare și de semnalizare, asigură securitatea lucrului la folosirea tensiunilor periculoase.

2.2. Posturi fixe

Nr. 1 este destinat verificărilor pentru recepția materialelor, reperelor și subansamblurilor primite din exterior. Este constituit dintr-un spațiu delimitat prin plasă metalică. Utilajele de control sînt grupate pe categorii de încercări pentru a efectua verificări electrice asupra materialelor și subansamblurilor din sistemul electric al produselor ca : ulei, relee,

motoare etc. şi verificări mecanice asupra materialelor şi subansamblurilor de construcţie ca : metale, resoarte etc.

Nr. 2, 3 şi 4 sînt destinate verificării prin sondaj sau bucată cu bucată a pieselor executate în fabrică. Spaţiul care serveşte unui post

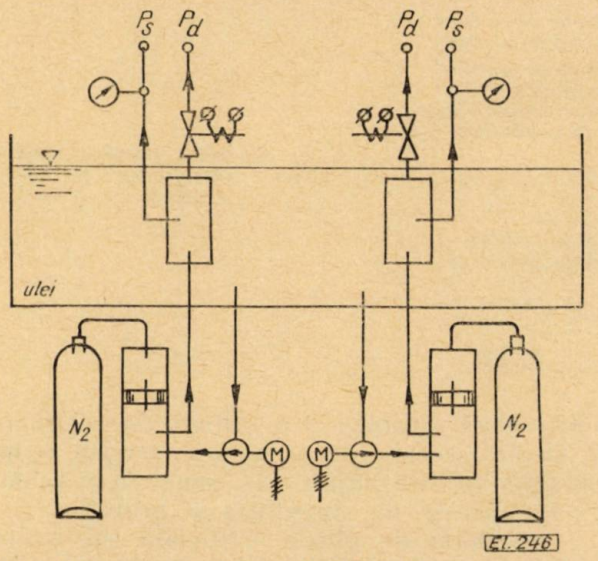


Fig. 4. Schema principială a instalaţiei hidraulice pentru verificarea supapelor dispozitivului de acţionare tip MOP-1 : P_s – racord presiune statică ; P_d – racord presiune dinamică.

de acest tip este delimitat printr-o construcţie metalică specială formînd un careu. Acesta serveşte pentru susţinerea pieselor de verificat şi pentru păstrarea aparatelor de măsurare.

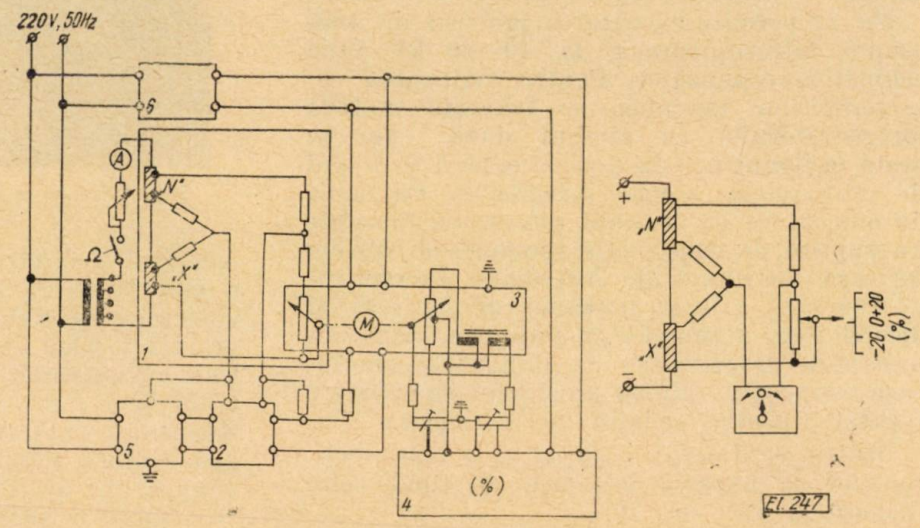


Fig. 5. Schemele principiale ale instalaţiilor pentru sortarea patroanelor fuzibile :

1 – punte Thomson ; *2* – amplificator ; *3* – element de reglare ; *4* – aparat indicator (%) ; *5* – bloc de alimentare ; *6* – stabilizator de tensiune.

a) Domeniul de măsurare 0,01 – 1oΩ
b) Domeniul de măsurare 0,0 – 0,01Ω

a) b)

Posturile sînt dotate cu aparate şi dispozitive pentru verificarea dimensiunilor şi a abaterilor dimensionale şi de formă.

Nr. 5 este destinat sortării miezurilor toroidale pentru transformatoare de măsură şi este constituit dintr-un suport pe care sînt montate aparatele componente instalaţiei de verificat. Sortarea se face măsurînd şi comparînd curentul de magnetizare al miezurilor de verificat cu cel al unui miez etalon, pentru o inducţie dată. Miezurile considerate etalon sînt executate în condiţiile optime : dimensiuni, tratament termic etc. Orice modificare a acestora duce la modificarea curentului de magnetizare.

Nr. 6 în acest post se verifică etanşeitatea supapelor dispozitivului de acţionare oleo-pneumatic tip MOP–1, prin aplicarea unei presiuni constante (încercare statică) şi a unei presiuni de şoc (încercare dinamică). Presiunile se pot aplica succesiv sau concomitent asupra obiectului de probat. Drept fluid de încercare se foloseşte ulei special de comandă. Supapele care prezintă scurgeri de ulei în timpul probelor, ca avînd defecţiuni de execuţie, se distrug. Instalaţia, a cărei schemă de principiu este arătată în figura 4, conţine două pompe de înaltă presiune (agentul compresibil-azot) şi un sistem de distribuţie şi comandă a fluidului de încercare (ulei). Postul are o construcţie metalică pentru asigurarea securităţii lucrului la înaltă presiune (500 at).

Nr. 7 şi 8 sînt destinate spălării conductelor hidraulice ale sistemului dispozitiv de acţionare - întreruptor şi verificării etanşeităţii asamblării carter-cameră de stingere. Drept fluid de lucru se foloseşte ulei de transformator sau apă la 1,3 at.

Nr. 9 este destinat sortării patroanelor fuzibile înaintea introducerii materialului de umplutură. Este constituit din două pupitre conţinînd cîte o punte Thomson în construcţie specială (fig. 5) un sistem de fixare cu mare productivitate a patroanelor fuzibile şi un spaţiu de depozitare a patroanelor fuzibile etalon. Sortarea se face comparînd rezistenţa ohmică a fuzibilului de încercat cu cea a fuzibilului etalon, abaterea în procente fiind indicată pe ecranul unui tub catodic (pentru domeniul

0,1—10) sau pe cursorul unei rezistențe reglabile din punte (pentru domeniul 0,0—0,1 Ω).

Nr. 10 este destinat verificării separatoarelor cu tensiune nominală de 1—35 kV. Întrucît numărul de probe este redus, postul dispune numai de o instalație pentru verificarea izolației pînă la 60 kV și o instalație pentru măsurarea căderii de tensiune în contacte.

Nr. 11 pentru a se putea efectua probe complete la un sortiment foarte diferit de produse, cum este cazul aparatelor de pornire și reglaj care se verifică la acest post, postul este înzestrat cu : o instalație de distribuție la tensiuni variate, o instalație pentru verificarea izolației la 5 și 10 kV, dispozitive de verificare rapidă a circuitelor secundare active sau pasive și cu diverse aparate pentru măsurarea unor mărimi electrice și mecanice.

Nr. 12 permite executarea probelor de serie asupra întreruptoarelor la 10—20 kV fiind echipat corespunzător. Pentru verificarea caracteristicilor mecanice se folosește metoda înregistratorului cu tambur după cum se arată în figura 6 — în care se explică și modul de interpretare a unei înregistrări. Ca sursă de alimentare cu tensiuni diferite se folosește un pupitru de construcție specială ; el conține întreaga aparatură de distribuție energetică, de comandă a întreruptorului de încercat și de măsurare a timpilor de acționare. Printr-un mecanism programator cu tambur se efectuează automat un număr prestabilit de manevre repetate, pentru rodajul mecanismelor.

Pentru verificarea izolației și a stării contactelor se folosesc instalații de tipul celor dispuse în PF—nr. 10.

2.3. Standuri *

Standul IT—1. Constituie o unitate cu dotare complexă în care se pot efectua toate încercările de serie asupra aparatelor de comutație la 110—220 kV. Ca utilaje de bază se amintesc :

— instalație de încercare la 0—600 kV, 600 kVA.

Măsurarea tensiunii de încercare se realizează printr-un divizor capacitiv și o instalație de măsurare a valorii de vîrf și eficace cu volt-

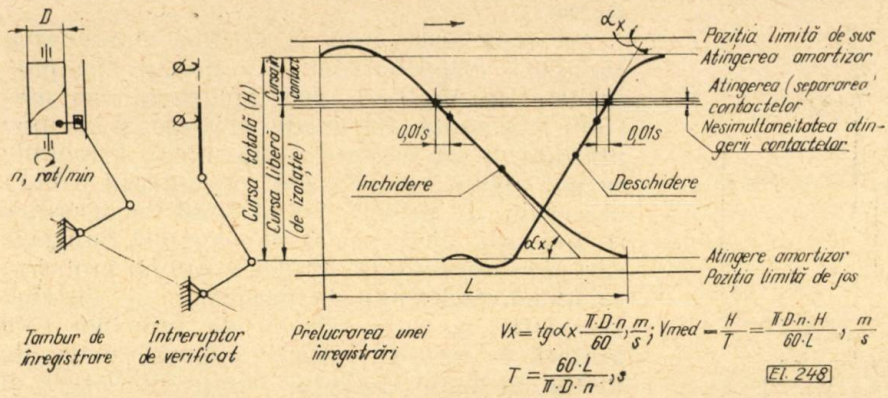


Fig. 6. Studierea mișcării contactelor unui întreruptor de medie tensiune.

metre electrostatice. Un sistem de eclatoare cu sfere, servește de asemenea acestui scop. Instalația are un pupitru de comandă și tablouri cu aparate de comutație și protecție ;

— instalația de ploaie artificială construită pentru a satisface condițiile normalizate [13].

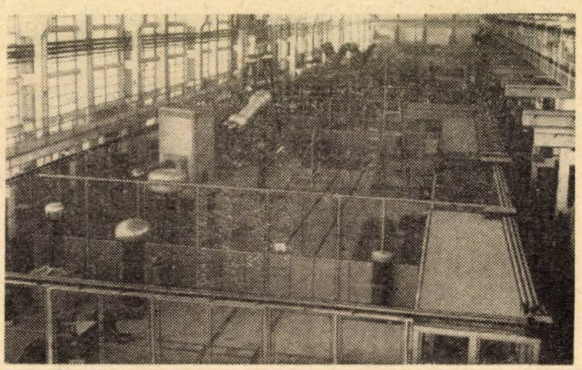


Fig. 7. Vedere generală asupra standurilor de *IT*.

Aparatul pulverizator, compus din șase etaje a cîte 10 diuze reglabile, permite încercarea obiectelor cu înălțime de pînă la 6 m și o suprafață în plan de 4 m². Instalația este completată cu aparatele necesare măsurării parametrilor ploii : rezistivitate, unghi de cădere și intensitate [14]. Apa de încercare se obține din apă tratată (circa 30 000 Ωcm) la care se adaugă apă de conductă ;

— pupitru pentru încercări electromecanice asupra întreruptoarelor, descris în lucrare (fig. 2) ;

— pupitru pentru verificarea stării contactelor ;

— pupitru pentru verificarea izolației circuitelor secundare.

O vedere generală a acestui stand este dată în figura 7.

Standul IT — 2. Cu aceeași destinație ca IT—1, însă pentru aparate la 35 kV, standul

* Execuția principalelor utilaje pentru verificări electrice aparține firmei AEG — R.F.G.

este utilat corespunzător. O parte a acestui stand este destinată încercărilor de tip, fiind utilată cu: surse de alimentare de tensiuni variate, dispozitive de diferite tipuri pentru trasarea caracteristicilor cinematice și aparate pentru măsurări de: forțe, presiuni, temperaturi, timpi, viteze etc. Pe această platformă

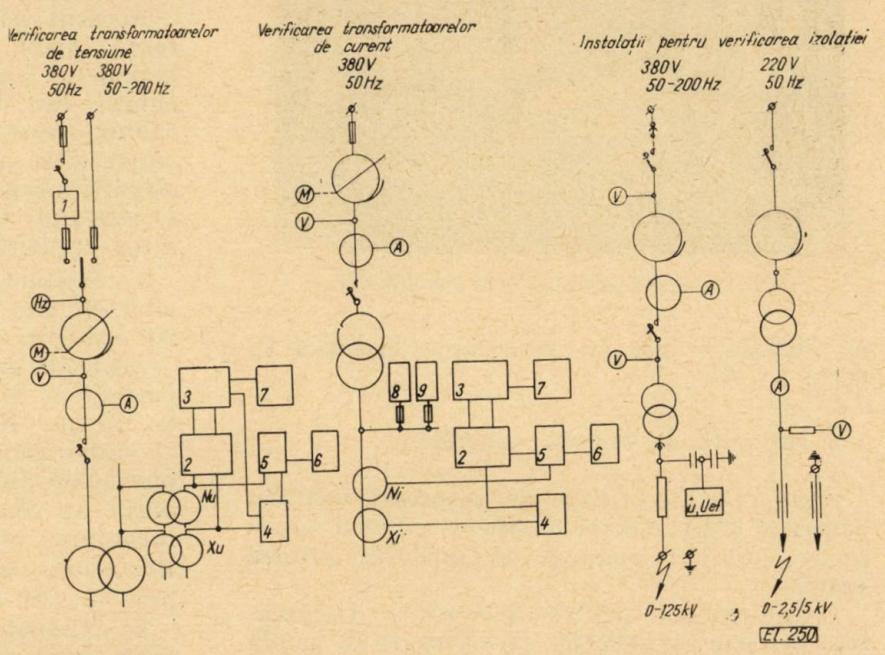


Fig. 8. Schema principială a standului M2:

1 — stabilizator de tensiune; *2* — aparat auxiliar pentru aparatul de procedeu diferențial; *3* — aparat de procedeu diferențial; *4* — cutie de sarcină; *5* comutator al punctului de lucru; *6* — aparat indicator de încărcare; *7* — inducator de nul electronic; *8* — aparat pentru determinarea coeficientului de saturație; *9* — dispozitiv de demagnetizare.

sînt dispuse și tablourile de comandă pentru alimentarea electrică a tuturor standurilor.

Standul M—1. Servește pentru verificarea transformatoarelor de măsură de curent și tensiune, la tensiuni de 35—220 kV. Dispunerea utilajelor a fost stabilită pe baza experienței Uzinei Electroputere și a altor uzine [15], [16], prin respectarea distanțelor de izolație și de influențare reciprocă electromagnetică cum și prin respectarea fluxului de fabricație. Măsurarea erorilor de raport și de unghi se bazează pe metoda diferențială [17], [18]. Aparatele de comutație (partea energetică) ale acestui stand sînt dispuse într-un tablou, iar aparatele de comandă și măsură într-un pupitru.

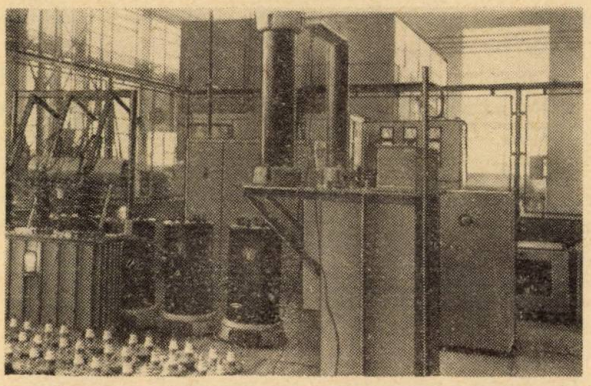


Fig. 9. Dispunerea utilajelor în standul M2. Partea de tensiune.

Standul M—2. Cu aceeași destinație ca M—1, însă pentru tensiuni de 0,1—35 kV, standul este utilat corespunzător. Schema principială, energetică, de măsurare și de verificare a izolației este dată în figura 8. Standul permite efectuarea operației de demagnetizare a miezului după fiecare măsurare printr-un dispozitiv automat, cum și măsurarea coeficientului de saturație prin metoda măsurării curentului de mers în gol [19].

Dispunerea utilajelor acestui stand este arătată în figurile 9 și 10, iar cabina cu pupitrele conținînd aparatele de măsură în figura 11.

Verificarea izolației înfășurărilor primare și secundare se poate efectua, în ambele standuri,

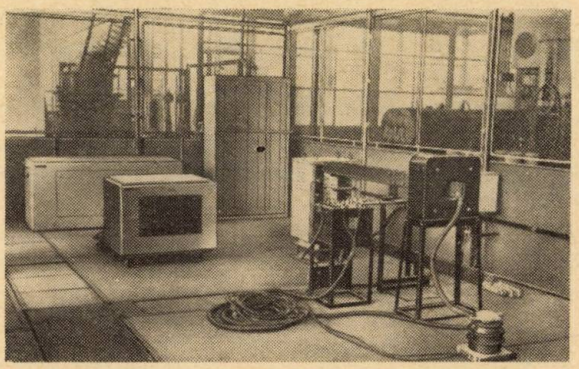


Fig. 10. Dispunerea utilajelor în standul M2. Partea de curent.

cu tensiune aplicată sau indusă la 50 sau 50—200 Hz.

Standul M—3. Fiind destinat verificării numai a transformatoarelor de curent la 0,5—20 kV, standul are o utilare mai simplă decît M—1

sau M—2. În afara utilajelor pentru verificarea erorilor de măsură, standul este echipat

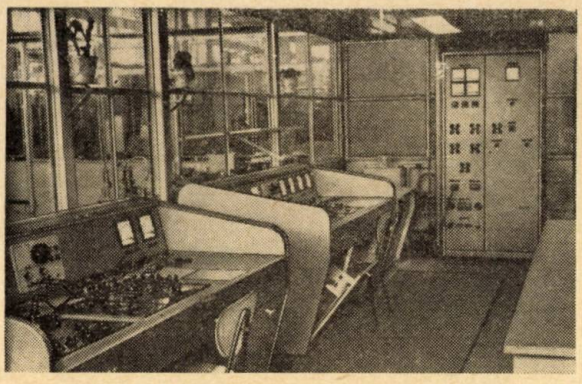


Fig. 11. Cabina aparatelor din standul M2.

cu instalații pentru verificarea izolației la 60 și 2,5 kV.

3 Instalații de folosire generală

Completul de utilaje de încercări conține, pentru a putea efectua verificări cît mai minuțioase, diferite aparate de măsură, printre care:

— echipament pentru măsurarea descărcărilor parțiale în izolație, cu măsurare în bandă largă (20 kHz—3 MHz);

— echipament pentru măsurarea capacității și a factorului de pierderi dielectrice după schema Schering [20]. Măsurarea poate avea loc în timpul și după uscarea transformatoarelor de măsură;

— echipament pentru înregistrarea pe hîrtie a fenomenelor cu desfășurare rapidă.

Partea energetică este constituită dintr-un sistem de distribuție a energiei electrice și aerului comprimat, care conține:

— post de transformare 6/0,4 kV—1000 kVA;

— grupuri convertizoare: 50—200 Hz, 400 V, 100 kVA; 10 și 30 kW—300 V c.c. și 10 V—2 000 A, c.c;

— grup electrocompresor 10 at—0,75 m³/min.

Utilajele de la ultimele două subpuncte sînt dispuse într-o sală de mașini situată sub standul IT—2.

Într-un compartiment separat al aceleiași săli de mașini se găsesc rezervoarele și pompele aferente instalației de ploaie artificială.

4. Elemente constructive speciale

După cum s-a arătat dispunerea diferitelor posturi de control a fost condiționată de încadrarea acestora în fluxul de fabricație; construcția lor a fost condiționată de încadrarea în arhitectura halelor de fabricație și de asigurarea deplină a securității lucrului. Pentru a îndeplini și aceste două condiții posturile fixe de control (PF—1, 6, 10, 11, 12) și standurile (IT—1, 2, M—1—2—3) sînt delimitate prin construcție din plasă metalică cu înălțime de 2,5 m pentru cele cu tensiunea de lucru pînă la 125 kV și de 3,5 m peste această tensiune.

Accesul poduselor este asigurat prin existența unor uși, dimensionate la gabaritul maxim al aparatelor, care nu stingheresc circulația din ateliere. La standuri s-au dispus cabine (construcție metalică și sticlă), pentru amplasarea aparatelor de măsură — cabine care asigură protecția contra zgomotului, vibrațiilor și prafului. Ca măsuri speciale pentru asigurarea securității lucrului se amintesc:

a) existența unui sistem de punere la pămînt cît mai eficace. Acesta este constituit din 20 electrozi — din țeavă galvanizată de 3″, — plantați în exteriorul halei, în vîrfurile unor patrate cu latura de 5 m, pînă la o adîncime de 15 m. Racordurile între electrozi, cum și al standurilor la electrozi este executat prin platbandă din oțel galvanizat [21]. Toate standurile au centură de punere la pămînt pentru racordarea utilajelor și a obiectelor de probat. Rezistența totală a sistemului de punere la pămînt este de 0,17 ohmi.

b) existența unui sistem de blocaj și semnalizare care să asigure:

— interzicerea accesului macaralelor peste standuri în timpul probelor;

— întreruperea alimentării electrice a utilajelor de probă la deschiderea ușilor sau la pătrunderea accidentală a macaralelor;

— semnalizarea lucrului la tensiuni nepericuloase și periculoase prin semnale luminoase și sonore.

În figura 12 se arată schema de principiu a instalației de blocaj și semnalizare a standului M—2.

Măsurile de siguranță sînt completate printr-o marcare și vopsire care avertizează asupra pericolelor prezentate de încercările din standuri.

5. Concluzii

O bună pregătire tehnologică trebuie să fie completată de un sistem de control al calității cît mai perfect.

În cazul fabricației aparatajului de înaltă tensiune, datorită unei mari varietăți a nomenclatorului de probe, rețeaua de control conține utilaje foarte diferite din punct de vedere constructiv, utilaje care se încadrează optim în fluxul de fabricație al producției de serie.

Eficiența acestui sistem de control se materializează în reducerea cheltuielilor de fabri-

cație, deci economii pentru uzina constructoare și în reducerea numărului de deranjamente și creșterea duratei de funcționare — deci economii pentru unitatea de exploatare a echipamentului livrat.

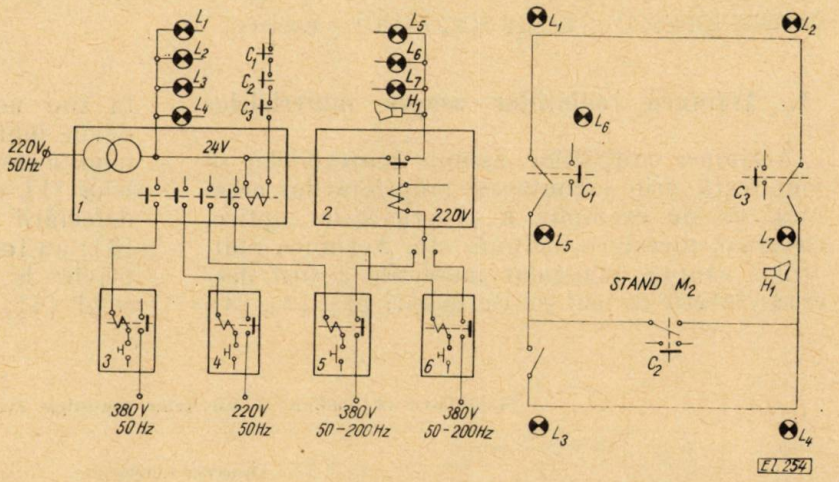


Fig. 12. Schema principială a instalației de blocaj și semnalizare la standul M2:

1 — element de alimentare și blocaj; *2* — releu de pilpiire; *3* — instalația pentru verificarea transformatoarelor de curent; *4* — instalația de IT la 5 kV; *5* — instalație pentru verificarea transformatoarelor de tensiune; *6* — instalație de IT la 125 V; L_1-L_4 — lămpi de lumină roșie permanentă; L_5-L_6 — lămpi cu lumină de lumină roșie intermitentă; C_1-C_3 — contacte de blocare montate la uși; H_1 — hupă.

Indicatorii respectivi arată o scădere a rebuturilor de fabricație de la 1,2% în 1963 la 0,45% în 1967, cum și o scădere a numărului produselor cu defecte constatate la stand concretizată prin scăderea indicatorului de reîntoarceri la standuri de la 4,8% în 1963 la 1,1% în 1967. Totodată s-a constatat scăderea numărului de reclamații, în special a celor cu cauze de fabricație.

Rețeaua de control al calității, prezentată sumar în lucrare, a Fabricii de aparate electrice de înaltă tensiune, este destinată asigurării livrării unor aparate cu garanția funcționării sigure în exploatare.

Bibliografie

[1] STAS 3686—63, Întreruptoare de putere pentru tensiuni alternative peste 1 kV.
[2] STAS 4195—62, Dispozitive pentru acționarea întreruptoarelor peste 1 kV.
[3] STAS 1564—62, Separatoare de curent alternativ pentru tensiuni de 1 kV și peste 1 kV.
[4] N.I. 2268—67, Celule prefabricate închise de interior tip CII-1-10/20.
[5] N.I. 566—56, Reostate de pornire în ulei.
[6] N.I. 1050—63, Reostate de pornire și reglaj cu lichid.
[7] N.I. 1376—64, Autotransformatoare de pornire.
[8] N.I. 1017—63, Descărcătoare cu rezistență variabilă.
[9] N.I. 1375—64, Descărcătoare tubulare cu fibră.
[10] N.I. 950—61, 960—61, 714—66, Suporți de siguranțe fuzibile și siguranțe fuzibile.
[11] STAS 4324—62, Transformatoare de curent.
[12] STAS 4323—62, Transformatoare de tensiune.
[13] STAS 6669—62, Încercarea echipamentului electric la înaltă tensiune.
[14] x x x „Die neue Kapillardüsen Beregnungsanlage des SFV für Spannungsprüfungen und ihre Anwendung". În: Bulletin des SFV nr. 14, 1954.
[15] *Gossner, F.K.* Neues Wandlerprüffeld eines Elektrische Prüfamtes. În: Siemens Zeitschrift nr. 10, 1956, pag. 481—485.
[16] *Metzner, H.I.* și *Stroinski, W.* Moderne Wandlerprüfräume für Elektrische Prüfamter. În: AEG Mitteilungen nr. 1, 1965, pag. 58—62.
[17] *Keller, A.* Neuzeitliche Wandler — Messeinrichtung dem Differenzverfahren. În: ETZ — A, nr. 4, 1953, pag. 105—108.
[18] *Busse, G.* Messgerätter zur Finstellung der Prüfpunkte bei Wandlermessungen. În: AFG-Mitteilungen, nr. 7, 1963, pag. 273—276.
[19] *Berndt, M.* Die Nennüberstromziffer — *n* — von Stromwandlern, ihre Bedeutung und Messung. În: Siemens Zeitschrift nr. 1, 1956, pag. 15—19.
[20] *Greif, G.* Die Schering Messbrucke. În: Mess und Regeltechnik nr. 16, 1963, pag. 140—143.
[21] STAS 4102—63, Piese pentru instalația de protecție prin legare la pământ sau la nul.

Intrat în redacție la 16. 04. 1968

Rezultate noi privind acţiunea radiaţiilor asupra materialelor şi dispozitivelor electronice şi electrotehnice

GEORGE IONESCU şi VASILE FOCHIANU* — Bucureşti

CZ 621.315/316+621.382:539.163

1. Acţiunea radiaţiilor asupra materialelor

Acţiunea radiaţiilor asupra materialelor se manifestă prin schimbarea proprietăţilor acestora, ca de exemplu, a proprietăţilor optice, electrice, mecanice, chimice etc. Acţiunea radiaţiilor asupra diferitelor materiale a fost descrisă sintetic în mai multe lucrări [1], [2], [3]. ta sînt notate dozele pentru care materialele devin inutilizabile. A fost studiată în special modificarea proprietăţilor fizice ale materialelor [1], elaborîndu-se şi diferite teorii asupra defectării structurii materialelor respective [1], [3]; au fost ţinute conferinţe internaţionale cu privire la acţiunea radiaţiilor asupra corpului solid [4]; o atenţie specială a fost acordată

Tabela 1

Stabilitatea la iradiere a diferitelor materiale (valori orientative)

Îmbătrînire puternică		Materialul (substanţa)	Devin inutilizabile la :	
neutroni/cm²*	rad**		rad	neutroni/cm²
$10^{14}-10^{15}$	$10^{5}-10^{6}$	triode semiconductoare sticle	$10^{5}-10^{6}$	$10^{14}-10^{15}$
$10^{15}-10^{16}$	$10^{6}-10^{7}$	politetrafluoretilenă (teflon) polimetilmetacrilat (lucită) apa ***	10^{6}	10^{15}
$10^{16}-10^{17}$	$10^{7}-10^{8}$	cauciuc butilic cauciuc natural lichide organice grafitul***	$10^{8}-10^{9}$	$10^{17}-10^{18}$
$10^{18}-10^{19}$	$10^{9}-10^{10}$	polietilena răşini fenolice cu adaos hidrocarburi lichide (uleiuri) oţel carbon ***		
$10^{19}-10^{20}$	$10^{10}-10^{11}$	polistirol ceramică unele mase plastice	$10^{9}-10^{11}$	$10^{18}-10^{20}$
$10^{20}-10^{21}$	$10^{11}-10^{12}$	oţeluri carbon speciale oţel inoxidabil		
10^{21}	10^{12}	aliaje de aluminiu	10^{12}	10^{21}

* Este vorba de fluxul $\int_0^t \varphi \cdot dt = \varphi . t$; dacă fluxul (neutroni/cm². s) este constant în timp, fluxul integral se exprimă în neutroni/cm².

** Prin rad, unitatea de măsură a energiei absorbite de material de la cîmpul de radiaţie γ.
Prin definiţie, 1 rad corespunde unei absorbţii de energie de 100 ergi/gram de substanţă iradiată.

*** apa, grafitul şi oţelul carbon devin inutilizabile la iradieri mult mai mari decît materialele din grupa lor (la iradieri cu neutroni de peste 10^{12} neutroni/cm² sau peste 10^{21} rad).

În tabela 1 sînt date valorile orientative la care diferitele materiale suferă o îmbătrînire puternică sau devin inutilizabile. Acestea se datoresc fie pierderii proprietăţilor mecanice (rezistenţa mecanică) proprietăţilor electrice şi optice, fie unei părţi din proprietăţile lor chimice. În coloana din stînga tabelei sînt indicate dozele de radiaţii pentru care materialele prezintă o îmbătrînire puternică, iar în coloana din dreapiradierii cu neutroni a materialelor nefisionabile [5], [6]. Materialele semiconductoare sînt scoase din uz de doze de radiaţii relativ joase (circa 10^{13}—10^{14} n/cm², la iradierea cu neutroni, sau 10^{5} rad în cazul iradierii cu radiaţii gama), ceea ce a făcut ca un mare număr de studii de iradiere să fie efectuate asupra semiconductorilor [7]—[11]. Încercarea aparaturii electronice în cîmp de radiaţii prezintă un deosebit interes pentru reactorii nucleari şi acceleratorii de particule [12]; pe scurt, efectele iradierii diferitelor componente electrice şi electronice sînt următoarele :

* *G. Ionescu* este şef de lucrări la catedra de fizică II, iar *V. Fochianu* este asistent la catedra de fizică I din Institutul politehnic „Gh. Gheorghiu-Dej" — Bucureşti.

La iradierea cu neutroni, în funcție de fluxul integrat * materialele sînt afectate în ordinea indicată în tabela 2.

Tabela 2

Efectele produse la o iradiere cu neutroni

neutroni /cm²	Efectul produs :
10^{14}	— transistorii cu germaniu își pierd amplificarea
10^{15}	— politetrafluoretilena își pierde rezistența la întindere — apa și lichidele organice (uleiuri etc.) gazează
10^{16}	— cauciucul își pierde elasticitatea
10^{17}	— polietilena își pierde rezistența la întindere — cauciucul butilic se înmoaie
10^{18}	— crește rezistența la rupere prin întindere a metalelor — polistirena își pierde rezistența la rupere prin întindere — crește viscozitatea uleiurilor și hidrocarburilor grele
10^{20}	— scade densitatea, conductibilitatea, cristalinitatea ceramicelor ; dacă ceramica este folosită ca izolator, scade tensiunea de străpungere a acestuia ; — materialele plastice se dezagregă și deci e imposibilă folosirea lor ca materiale de structură într-un reactor ; — crește densitatea oțelurilor, însă scade durabilitatea lor ; — scade durabilitatea aliajelor de aluminiu etc.

2. Efectele iradierii asupra elementelor de circuit și a aparaturii electronice și electrice

Vom sintetiza rezultatele obținute în urma iradierii aparaturii electronice, trecînd în revistă diferitele componente ale montajelor.

a) Conductoarele de legătură sînt foarte stabile în cîmpurile de radiții. Principalul efect nefavorabil produs de radiații este deplasarea atomilor din rețea, care duce la schimbări ale proprietăților mecanice și ale rezistenței electrice, anulate prin efectul de revenire la creșterea temperaturii ; la majoritatea metalelor acest efect se produce chiar la temperatura camerei. Variațiile de rezistivitate sînt de 1% și revenirea la valoarea inițială se produce deja la 30°K [6].

b) Rezistorii. Rezistența lor variază în cîmpul de radiație această variație depinzînd de :

— valoarea inițială a rezistenței ;
— doza-debit ** și
— doza totală *** absorbită.

Rezistențele se pot grupa astfel :

— rezistențele etalon (bobinate), iradiate la un flux de 10^{15} n/cm², suferă o variație de rezistență mai mică de 1%. Sînt cele mai stabile ;

— rezistențele cu cărbune variază în cîmpul de radiații. Cele care conțin cărbune coloidal prezintă o scădere de rezistență de 5—15% ;

— rezistențele obținute prin metalilizare prezintă variații ale valorii sale de 4% iar iradieri de numai 10^{13}—10^{14}n/cm² ;

— rezistențele izolate în parafină sau în alte substanțe organice bogate în hidrogen, se scurtcircuitează la fluxuri integrale mici (10^{12}—10^{13} n/cm²). (Atomii de hidrogen bombardați cu neutroni rapizi reculează puternic, ionizînd intern regiunea străbătută (protoni de recul) ; prin ionizări repetate, se produce străpungerea).

În concluzie, se vor evita rezistențele izolate cu parafină sau alți izolatori organici, folosindu-se în cîmpurile de radiație rezistențele bobinate sau cu cărbune.

c) Transformatoarele ca și toate piesele metalice bobinate, nu sînt afectate în general pînă la doze integrale de iradiere de circa $5 \cdot 10^{17}$ neutroni rapizi/cm² $\cong 2 \cdot 10^{9}$ rad *.

d) Condensatoarele se grupează după cum urmează :

— condensatoarele electrolitice gazează încă de la doze mici, putînd exploda (neutronii produc radioliza apei) ; ca măsură de prevedere, învelișul lor se perforează pentru a evita explozia. La 200 ore de iradiere la $5 \cdot 10^{11}$ n/cm² — 10^{14} n/cm²), capacitatea scade cu circa 20%. Sînt străpunși la 10^{15}—10^{16} n/cm².

Ionizarea internă intensă se produce în special în cazul cînd electrolitul conține urme de bor, prin particulele α produse în reacția :

$$_5B^{10} + {}_0n^1 \rightarrow {}_3Li^7 + {}_2He^4 ;$$

— condensatoarele tubulare cu hîrtie sau impregnate cu ulei, prezintă variații de capacitate de 6—10% după 20 ore de iradiere la $5 \cdot 10^{11}$n/cm²s (10^{13} n/cm²) ; o iradiere de încă 100 ore (pînă la 10^{15} n/cm²) duce la scăderea capacității cîștigate în primele ore de iradiere cu circa 3%. În general limitele de toleranțe admise sînt depășite la un flux integrat de 10^{14} neutroni rapizi/cm² (10^{7} rad) ;

— condensatoarele cu cermică ca și cele cu mică nu prezintă variații mai mari de 10%, la iradieri de 10^{17}—10^{18} n/cm².

e) Izolatoarele [12].

Efectele unei radiații de energie înaltă asupra izolatoarelor depind de următorii factori : compoziția izolatorului ; tipul de radiație, doza-debit ; timpul total de expunere ; alte condiții exterioare, ca temperatura și umiditatea ; înalta tensiune aplicată izolatorului. Efectele pro-

* Este vorba de fluxul $\int_0^t \varphi \, dt = \varphi t$; dacă fluxul (neutroni/cm².s) este constant în timp ; fluxul integral se exprimă în neutroni/cm².

** Prin doză debit se înțelege doza energetică primită de corpul iradiat în unitatea de timp.

*** Prin doză totală (sau integrală) se înțelege energia totală primită de corpul iradiat pe toată durata iradierii.

* Efecte similare sînt produse de radiațiile gama în toate cazurile de iradiere ; dozele de radiații gama (în rad) care produc efecte similare cu cele produse de neutroni pot fi apreciate direct din tabela 1.

duse prin iradiere sînt : emanări de gaze (prin trecerea în stare gazoasă a izolatorului), decolorări, schimbări în proprietăţile electrice şi mecanice. În general, prin iradiere tensiunea de străpungere scade.

În izolatoarele organice, efectele produse de radiaţiile de energii înalte sînt : ionizări şi excitări produse în interiorul materialului, care în izolatoarele organice conduc la schimbări permanente ale parametrilor macroscopici, datorite mecanismelor reacţiilor de clivaj în lanţ şi a celor de împînzire, care duc apoi la degradări ale proprietăţilor mecanice şi treceri locale directe în stare gazoasă. Polimerii care conţin halogeni (de ex. P.V.C.) dau naştere în cîmpuri de radiaţii la HCl (gazos) care pune probleme de coroziune a materialelor alăturate. În timpul şi după expunerea la radiaţii se constată creşteri ale conductivităţii proporţionale cu intensitatea radiaţiilor, creştere rapidă în timp, dar prezentînd apoi un palier de saturaţie. Aceste variaţii de rezistenţă electrică sînt importante numai în zonele în care intensitatea radiaţiei este apreciabilă. Trebuie subliniat că izolatoarele organice încetează să funcţioneze normal şi datorită puternicelor defecte mecanice produse prin iradiere. Polistirenul, policlorura de vinil, plexiglasul, îşi pierd aproape complet calităţile izolatoare şi mecanice, activîndu-se puternic la fluxuri iniţiale de 10^{15}—10^{17} n/cm^2. Defectele produse prin iradierea izolatoarele anorganice se datoresc : schimbării parametrilor reţelei (deplasări produse în reţeaua cristalină); scăderii densităţii; producerii de excitări în interiorul atomilor izolatorului; toate acestea avînd ca urmare variaţii ale proprietăţilor electrice. Aceste excitări sînt însă anulate prin agitaţie termică chiar la temperatura camerei şi deci din punct de vedere chimic aceste izolatoare rămîn nealterate. Principalele defecte produse rămîn cele legate de variaţiile de dimensiune şi densitate ale izolatorului. Practic însă, izolatoarele anorganice sînt mult mai stabile decît cele organice.

O atenţie deosebită se acordă alegerii izolatoarelor anorganice utilizate în cîmpuri de radiaţie cu neutroni termici în legătură cu secţiunea eficace de captură a acestora, care, dacă este mare, poate duce la transmutarea radioactivă artificială a unor atomi ai izolatorului, cu importante consecinţe în proprietăţile electrice ale acestuia.

3. Acţiunea radiaţiilor asupra sticlei [17]

Sticla este foarte sensibilă la acţiunea radiaţiilor care prin ionizări, produc modificări de absorbţie vizibile. Sticla reacţionează diferit în cîmpurile de radiaţii, după tipul (compoziţia) sticlei. Există două categorii de fenomene provocate de acţiunea radiaţiilor asupra sticlei : deplasări ale atomilor din poziţia de echilibru şi excitări ale atomilor prin deplasarea electronilor pe alte nivele energetice.

Supusă radiaţiilor, sticla prezintă următoarele tipuri de fenomene :

— fluorescenţa este fenomenul prin care energia electromagnetică pierdută în sticlă reapare sub formă de energie luminoasă cu o lungime de undă λ_e mai mică decît lungimea de undă iniţială λ_i. Ambele procese de absorbţie şi emisie sînt practic simultane. Cînd ele sînt decalate în timp, se produc fenomene de fosforescenţă, iar în cazul cînd $\lambda_e = \lambda_i$ apare fluorescenţa de rezonanţă;

— solarizarea apare la sticla supusă un timp îndelungat radiaţiilor electromagnetice care suferă reacţii fotochimice ce pot provoca schimbări de coloraţie. Sticlele ce conţin Mn de exemplu, îşi intensifică în timp culoarea lor purpurie. Această proprietate de a-şi schimba culoarea sub acţiunea radiaţiilor se mai numeşte şi fotocromie;

— acţiunea radiaţiilor γ se manifestă tot prin schimbarea culorii sticlei. Fenomenul începe la o doză de cîteva mii de roentgeni şi se intensifică repede o dată cu doza. În astfel de condiţii, o fereastră de sticlă devine repede opacă. Pentru reducerea acestui fenomen se utilizează sticle stabilizate, care conţin cerium în compoziţia lor, ceea ce împiedică sau reduce colorarea sticlei respective;

— radiofotoluminiscenţa. În sticla supusă acţiunii unei radiaţii ionizante, se pot crea centre fotoluminiscente, adică sticla respectivă devine fotoluminiscentă sub acţiunea unei lumini convenabile, intensitatea radiaţiei de luminiscenţă fiind proporţională cu doza iniţială de radiaţie. Folosind acest fenomen, sticla a fost utilizată şi ca dozimetru pentru doze mici de radiaţii ionizante.

Radiaţiile α, β, γ, n, produc ionizări care provoacă la rîndul lor excitarea emisiei de fluorescenţă. La trecerea prin sticlă fiecare particulă dă un impuls luminos distinct, a cărui intensitate este proporţională cu energia incidentă. Ca sticle scintilatoare se folosesc sticle activate cu uraniu sau ceriu.

În general sticla îşi pierde parţial sau total calităţile izolante în cîmpurile de radiaţii (la $\sim 10^{15}$ n/cm^2).

Pyrexul este foarte sensibil la bombardamentul cu neutroni. Un eşantion gros din pyrex, iradiat în reactor prezintă mai întîi dislocaţii şi sfîrşeşte prin distrugerea sa mecanică în bucăţi. Acest lucru se datoreşte contractării sale sub acţiunea bombardamentului neutronic.

Sub acţiunea radiaţiilor se produc sarcini electrice, care, prin încărcare, pot provoca cîmpuri electrice locale foarte intense; aceste cîmpuri pot da naştere la descărcări electrice violente care pot fractura sticla. Se semnalează de exemplu cazul unei coloane de protecţie

din sticlă, care după ce a fost supusă la o doză ridicată de radiații s-a spart prin punerea la pământ în timpul unei revizii.

Rezistivitatea electrică a sticlelor ce conțin bor scade rapid în urma bombardamentului neutronic. Radiațiile γ nu influențează practic conductibilitatea sticlei (nu s-a observat nici o schimbare după expunerea la o doză de 10^7 roentgeni dată de o sursă de Co^{60} de 100 Curie).

Produsele de fisiune produc de asemenea prin iradiere distrugeri importante în sticlă. Zonele de sticlă perturbate de fragmentele de fisiune sînt mult mai solubile în acidul fluorhidric de exemplu realizarea în sticlă de găuri de 10 μm adîncime și 25 Å diametru.

4. Efectele radiațiilor asupra materialelor magnetice [18]

În acest caz efectele radiațiilor variază foarte mult cu tipul de material iradiat. Unele materiale, ca de exemplu molibdenul-permalloy 5—79 și orthonolul, suferă schimbări importante; alte materiale, ca de exemplu oțelul cu siliciu 3,5%, aliajul vanadium-permendur 2, prezintă schimbări mai puțin importante. Proprietățile magnetice sînt sensibile în mod special la iradierea cu neutroni rapizi, deoarece proprietățile materialelor magnetice sînt afectate de schimbările provenite în rețeaua cristalină provocate mai ales în cîmpurile de radiații constituite din

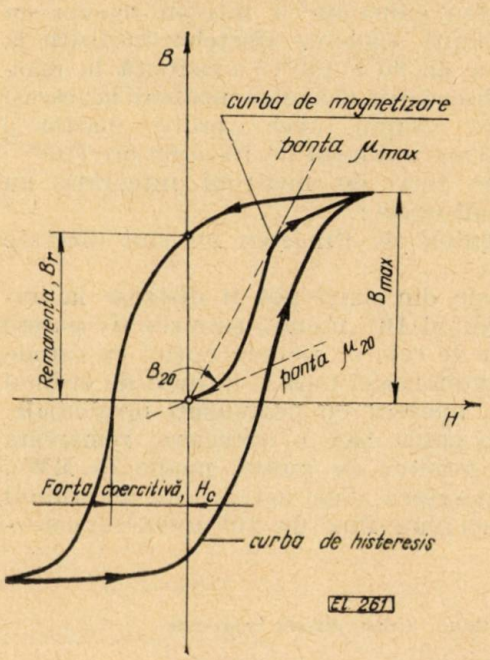


Fig. 1. Curba de histerezis și parametrii magnetici.

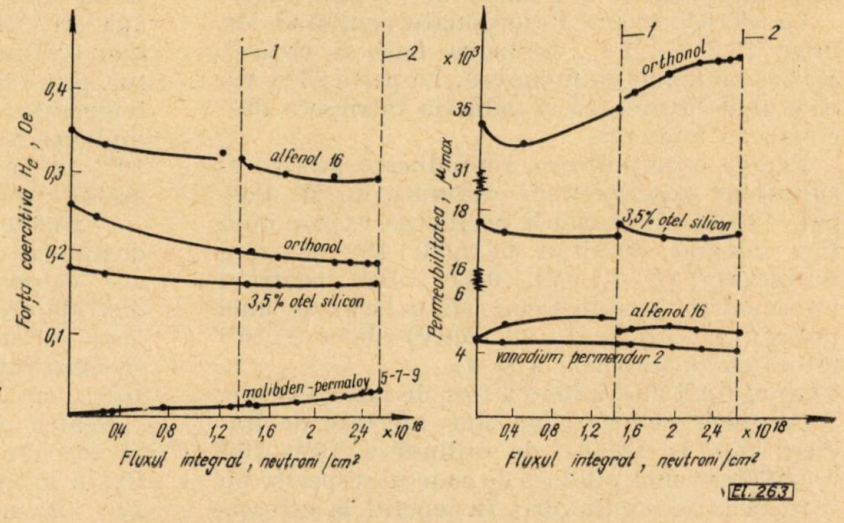


Fig. 3. Variațiile parametrilor magnetici la diferite aliaje supuse iradierii cu un flux de neutroni:

1 — reactorul încetează iradierea pentru 15 ore; *2* — reactorul încetează iradierea.

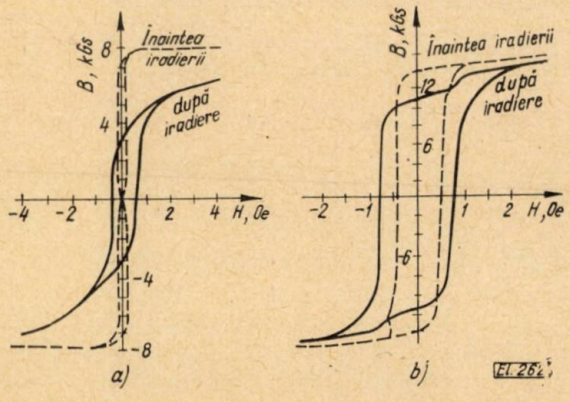


Fig. 2. Variația curbei de histerezis (înainte și după iradiere cu $2{,}74 \cdot 10^{18}$ neutroni/cm²):

a) molibden permalloy 5—79; *b*) ortohnol.

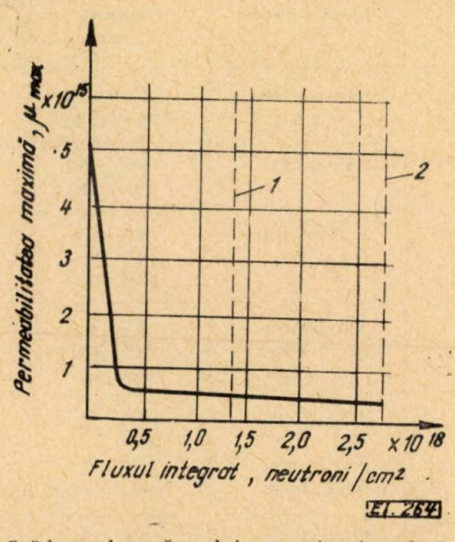


Fig. 4. Scăderea bruscă a lui μ_{max} în cîmpul de radiații pentru molibdenul permalloy 5—79 arată că acesta nu este recomandat pentru astfel de servicii:

1 — scos din reactor pentru o perioadă de 15 ore; *2* — scos din reactor.

neutroni. Molibdenul permalloy 5—79 este tratat la cald pentru a se obține proprietățile sale magnetice maxime, găsindu-se într-o stare de ordine critică. Schimbările observate în proprietățile sale feromagnetice, în urma iradierii cu neutroni rapizi, indică o schimbare semnificativă în gradul de ordine. Un eșantion de aliaje alfenol—16 de exemplu a fost tratat special la căldură pentru a se obține proprietăți magnetice slabe. El se găsea într-o stare internă de dezordine; supus iradierii cu neutroni, proprietățile sale magnetice s-au îmbunătățit. Efectele radiațiilor asupra aliajelor ordonat-dezordonate de nichel-mangan de exemplu (în proporție de 16,5—31,9% Mn) indică o descreștere a inducției intrinseci mai mare de 80% la o iradiere de $\sim 10^{20}$ n/cm^2.

La aliajele termic-dezordonate conținînd Mn între 16,5 și 22%, iradierea face să crească apreciabil inducția intrinsecă. La peste 23% Mn efectul se inversează și inducția intrinsecă descrește cu iradierea.

Pentru exemplificare, reproducem tabela rezultatelor experimentale obținute de M. Pasnak [19] la materialele magnetice expuse unui flux integrat simultan de $2{,}63 \cdot 10^{18}$ neutroni termici/cm^2 ($E < 1$ eV), $0{,}11 \times 10^{18}$ neutroni intermediari și rapizi/cm^2 ($E > 1$ eV) și unei radiații γ ($E_\gamma \sim 1-2$ MeV) de $4 \cdot 10^{11}$ fotoni/cm^2/s (tabelele 3 și 4).

Timpul total de iradiere a fost de circa 493 ore.

Cristalele de cuarț nu sînt afectate de iradiere pînă la fluxuri de ordinul a 10^{18}—10^{19} n/cm^2 (frecvența pilotată de cuarțul respectiv nu variază la aceste fluxuri). În general, la aproape toate cristalele nu se obțin efecte prin iradiere la fluxuri integrate mai mici. Cercetările efectuate cu fluxuri integrate mai intense ($6{,}6 \cdot 10^{19}$ n/cm^2) au arătat că constanta de rețea crește de la 4,95 Å la 5,01 Å în direcția axelor x și y, și de la 5,393 Å la 5,41 Å în direcția axei z (cuarțul are o sctructură hexagonală plană, repetată în plane z = const., schimbarea de densitate fiind de 3,5%).

5. Acțiunea radiațiilor asupra tuburilor electronice.

Tuburile electronice sînt foarte variate ca materiale de structură și complexitate și în consecință rezistența la iradiere va fi foarte diferită.

Încercări făcute la un flux de 10^{11} n/cm^2 s și 10^{10} fotoni gama/cm^2 s într-un reactor cu apă grea (după scăderea efectelor încălzirii la temperatura de 90°F (32°C) existentă în reactor, prin observarea efectelor încălzirii la aceeași temperatură asupra unei „probe martor"), iradierea avînd o durată de 10—100 ore (10^{15}—10^{16} n/cm^2 flux de neutroni integrat), au arătat următoarele:

— filamentele de tungsten nu sînt afectate de iradiere;

— catodele din oxizi pot fi distruse la iradieri de ordinul 10^{17} n/cm^2; tuburile de putere (este vorba de cele de radiorecepție) cu catode cu oxizi funcționează încă la iradieri de ordinul 10^{16} n/cm^2, aparent cu neajunsuri neesențiale.

Pentru a putea face o apreciere, remarcăm că într-un reactor de putere medie (5 MW), fluxul la marginea zonei active este de ordinul 10^{12} n/cm^{2}s; un flux de 10^{18} n/cm^2, ar cores-

Tabela 3

Schimbările în procente ale proprietăților magnetice în curent continuu, pentru diferite materiale

Materialul (aliajul)	Compoziția	Permeabilitatea inițială la B = 20 G_s μ	Permeabilitatea maximă	Forța coercitivă	Remanența	Inductanța de saturație B pentru H = 300e	Rectangularitatea ciclului
Oțelul cu siliciu 3,5%	3,5% Si, 96,5% Fe	8	—1	5,7	0,8	0	0,8
Ortonolul	50% Ni, 50% Fe	—31	15	—28	—24	—4	—21
Molibdenul permalloy 5—79	5% Mo, 79% Ni 16% Fe	—93	—93	815	—38	3,2	—36
Vanadium-permendur 2	2% V, 49% Co 49% Fe	2,7	1,7	—2	—0,6	—0,7	0
Alfenol 16	16% Al, 84% Fe	34	15	—8	7,5	—5	13
Nikel-ferit	$NiO.Fe_2O_3$	1,2	1,4	—4,6	—4	—1,7	—2,4
Molibdenul permalloy 2—81 pudră	2% Mo, 81% Ni 17% Fe	—6,8	—3,7	—	—	0,2	—

punde unei iradieri de 10^6 secunde, adică de circa 280 ore, ceea ce pentru tuburile de putere mică este cam un sfert pînă la jumătate din timpul de funcționare;

— deteriorarea unor catode poate fi pusă în legătură cu gazarea produsă de descompunerea sticlei prin iradiere și stricarea vidului (catodul se oxidează și se distruge de exemplu) [2];

— unele tuburi rezistă la iradiere și funcționează încă satisfăcător la fluxuri de 10^{18} n/cm², pe cînd alte tuburi (ca de exemplu tubul de putere 829 B), nu rezistă la fluxuri mai mari de 10^{16} n/cm², catoda fiind distrusă la 10^{17} n/cm²; tuburile de luat imagine pentru televiziune (de exemplu în cazul televizării efectului Cerenkov din reactori), se degradează prin colorarea și opacizarea sticlei tubului (la orticoane și vidicoane de exemplu);

— fotocatodele tuburilor fotomultiplicatoare, iradiate la un flux de $5 \cdot 10^{11}$ n/cm² s, și $5 \cdot 10^{10}$ n/cm²s, prezintă după 105 ore de iradiere un curent de întuneric echivalent cu cel dat la iluminarea de saturare; iradieri mai scurte duc la slăbirea sensibilității tubului (deci distrugerea se produce la un flux integrat de $5 \cdot 10^{13}$ n/cm²).

— celulele fotoelectrice sînt afectate în același mod ca și fotocatodele fotomultiplicatoarelor electronice.

Tabela 4

Schimbările în procente ale proprietăților magnetice în curent alternativ

Materialul miezului magnetic	Fluxul magnetic						Rectangularitatea ciclului (B_r/B_p)			Forța coercitivă	
	H_p	60 Hz	400 Hz	H_p	60 Hz	400 Hz	H_p	60 Hz	400 Hz	60 Hz	400 Hz
Oțelul cu siliciu 3,5%	0,1	1	0,5	1	—2,5	—8	7	1,5	1,5	9	7
Ortonolul	0,1	—36	—41	1	—17	—21	2	—17	—17	44	85
Molibdenul-permallay 5—79	0,01	—92	—84	0,1	—76	—81	4	—46	—37	1 000	780
Vanadium-permendur 2	1	5	2,5	4	—1,5	—15	20	—6	—2,5	5	10
Alfenol 16	0,1	—4	—5	1	—1	—1,5	5	—1,5	1	8	4
Nickel-ferit	4	—2,5	23	10	—3	—3	20	—0,5	8	5	3,5
Molibdenul permalloy 2—81 pudră	1	—7	—8	4	—7	—10	20	—	—	—	—

6. Acțiunea radiațiilor asupra semiconductoarelor.

Un număr mare de lucrări au fost dedicate comportării semiconductoarelor și variației caracteristicilor transistoarelor în cîmpurile de radiații [7], [13], [20]. Radiațiile pot provoca defecte în rețeaua cristalină prin ciocnirea și deplasarea prin recul a ionilor rețelei (defect primar punctual sau defect Frenkel, ducînd la apariția unei lacune în rețea și a unui atom interstițial). Uneori ionii primari deplasați au energii de recul suficiente (circa 25 eV pentru Si și Ge) spre a provoca la rîndul lor alte deplasări secundare de ioni în rețeaua cristalină, dînd astfel naștere unui defect local de dimensiuni importante. În producerea depalasărilor din rețea un rol important îl joacă și orientarea particulelor incidente în raport cu planurile cristaline ale rețelei, producînd o deplasare de ioni de recul cu un parcurs lung (pierdere de energie specifică mică a acestora) cînd direcția radiațiilor incidente se apropie de direcția planurilor cristaline de cea mai mică densitate („efect de canalizare"). Pierderea de energie a radiațiilor incidente în interiorul semiconductoarelor poate fi datorită și interacției coulombiene a radiațiilor cu straturile de ioni. Defectele produse în semiconductoare de radiații conduc la apariția unor nivele energetice acceptoare și donoare suplimentare în banda energiilor interzise. Efectul direct al radiațiilor este scăderea conductivității (fig. 5) și formarea în cristal de noi centre de recombinare ale purtătorilor mobili, avînd ca urmare directă reducerea timpului de viață al purtătorilor minoritari. Proprietățile amplificatoare ale transistoarelor sînt strîns legate de timpul de viață al purtătorilor minoritari injectați în bază și deci reducerea timpului de viață al purtătorilor este o cauză principală a degradării transistorului supus radiațiilor. Calculul teoretic făcut presupunînd unele ipoteze si-

plificatoare conduce la expresia care reflectă reducerea timpului de viaţă: $\frac{1}{t} = \frac{1}{t_o} + \frac{\Phi}{K}$, unde t_o şi t sînt timpi de viaţă ai purtătorilor înainte şi după iradiere, Φ este fluxul

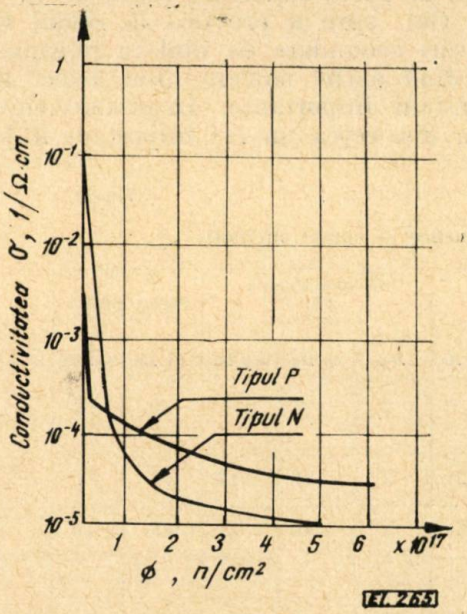


Fig. 5. Degradarea conductivităţii siliciului în funcţie de fluxul ϕ de neutroni rapizi primit (neutroni rapizi/cm²).

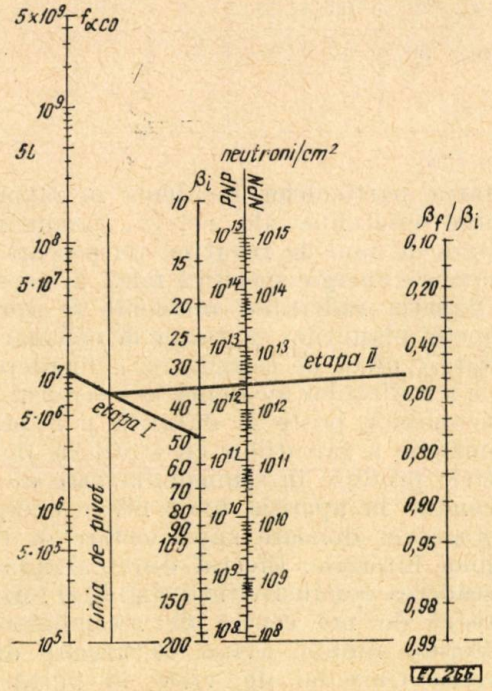


Fig. 6. Degradarea cîştigului în curent la un transistor. Nomograf pentru transistoarele cu Si.

de particule incidente şi K este o constantă care depinde de mai mulţi parametri (tipul şi rezistivitatea semiconductorului, tipul şi energia fluxului de particule incidente, natura impurităţilor în semiconductor, temperatura etc.) şi se determină experimental pentru fiecare tip de semiconductor.

Germaniul şi siliciul sînt caracterizaţi prin instabilitatea defectelor primare şi în consecinţă au o bună comportare în cîmpurile de radiaţii. Această proprietate nu se mai menţine însă pentru cristalele grupei a doua de semiconductoare (de exemplu Ga, As.). Cînd un cristal de Si de tipul n sau p este supus un timp mai îndelungat acţiunii radiaţiilor el se comportă ca un cristal intrinsec. Se constată în general că defectele elementare, mai puţin stabile, se asociază cu alte defecte sau impurităţi existente

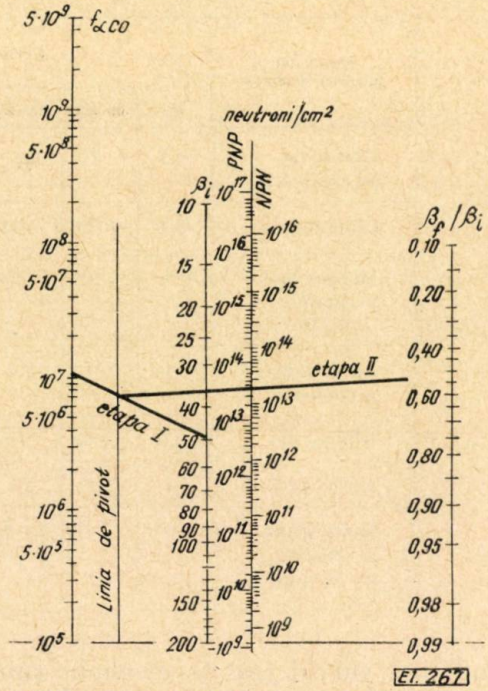


Fig. 7. Degradarea cîştigului în curent la un transistor. Nomograf pentru transistoarele cu Ge.

în cristal, dînd naştere unor zone defecte complexe, care se descompun sub acţiunea căldurii (între 120—300°C). Natura defectelor create depinde şi de tipul radiaţiei incidente. Astfel radiaţiile β şi γ produc o repartiţie uniformă de defecte Frenkel (lacună + atom interstiţial) neutronii rapizi creează zone foarte deranjate, iar particulele grele de energii joase creează complexe şi lacune duble. Lucrări experimentale arată că modul de interacţie între defectele primare şi impurităţi poate fi modificat prin introducerea de impurităţi mobile în interstiţiile reţelei cristaline (de exemplu Li în cristalul de Si). Acest fenomen este utilizat în practică pentru creşterea stabilităţii celulelor solare generatoare de curent.

Pentru transistori, cîştigul în curent este parametrul cel mai sensibil pentru măsurarea degradării produse de radiaţii şi constitue criteriul de selecţionare a transistoarelor destinate să funcţioneze în aceste situaţii. O firmă

producătoare a stabilit experimental că pragul de iradiere (de la care apar efecte măsurabile) pentru dispozitivele sale este de 10^{12} n/cm² și respectiv de $3 \cdot 10^5$ rad, pentru radiații gama.

Următorul test de selecție experimentală pentru transistoarele destinate funcționării în cîmpurile de radiații a fost indicat de H.L. Olesen, care a iradiat transistoarele cu o sursă de Co^{60}, după care a măsurat degradările suferite de parametrii cîștig de curent și curent colector-bază. Transistoarele care prezintă degradări apreciabile sînt respinse, iar cele admise sînt supuse timp de 10—15 minute unei temperaturi de 150—300°C pentru a anihila defectele produse prin iradiere. Se consideră că transistoarele care rezistă cel mai bine la radiații sînt cele care prezintă următoarele caracteristici: o bază îngustă și o frecvență înaltă de tăiere; un cîștig inițial h_{FE} ridicat; protejarea suprafeței printr-uu strat de pasivizare; de preferință, în timpul iradierii transistorul trebuie să se găsească într-o stare „saturată" (în locul unei stări „blocate" sau „pasive").

Acțiunea superficială a radiațiilor: toate dispozitivele cu semiconductoare sînt sensibile la efectele de ionizare pe suprafață datorite bombardamentului cu radiații ionizante Cele mai sensibile sînt transistoarele cu purtători majoritari, la care se produc efecte (curenți de fugă) apreciabile de la următoarele doze de radiații: 10^{12} neutroni rapizi/cm²; $5 \cdot 10^{12}$ electroni de 1 MeV/cm²; $5 \cdot 10^{10}$ protoni de 30 MeV/cm²; radiații γ între $3 \cdot 10^5$ și $3 \cdot 10^6$ rad.

Pentru a asigura o durată mai lungă de funcționare a transistoarelor cu efect de cîmp în mediile iradiate se utilizează: a) o protecție suficientă spre a elimina particulele ionizante de mică energie și b) diferite metode pentru a obține o mai bună comportare a dispozitivelor la radiații. O astfel de metodă simplă de îmbunătățire a calităților transistoarelor Moss este supunerea lor la un ciclu de preiradieri, fiecare iradiere fiind urmată de o „vindecare" prin încălzire a defectelor produse prin iradiere.

În concluzie, cu toate măsurile luate, trebuie acceptată ca inevitabilă degradarea transistoarelor în cîmpurile de radiații, dar se pot prevedea circuite electrice de compensare a deviațiilor caracteristicilor transistoarelor. Din colocviul cu tema: „Acțiunea radiațiilor asupra componentelor cu semiconductoare "(Toulouse 1967), rezultă că transistoarele cu efect de cîmp sînt destinate pentru servicii de lungă durată, iar circuitele integrate numai pentru servicii de scurtă durată.

Concluzii

— În general tuburile electronice nu sînt afectate de iradiere. Fac excepție: fotomultiplicatoarele (mai exact fotocatodele lor) și fotocelulele de toate tipurile; tuburile de luat imagini pentru televiziune; unele tuburi cu catode de oxizi sau cu pereți din sticlă care gazează la iradiere. De preferat: tuburile metalice cu catod de tungsten, tungsten toriat etc.

— Se va evita folosirea în cîmpuri de radiație sau expunerea la iradiere a condensatoarelor electrolitice sau a celor impregnate. Se vor utiliza de preferință condensatoarele ceramice sau cu mică.

— Se vor evita rezistențele izolate cu parafină sau cu alte izolatoare organice. Se vor folosi în special rezistențele metalice bobinate, sau cele cu cărbune.

— În general, iradierea afectează calitățile izolatoarelor; în special este de dorit să nu se expună izolatoarele instalațiilor de înaltă tensiune la iradiere, deoarece se poate produce străpungerea sau conturnarea; în cazuri speciale, radiația trebuie ecranată, pentru a nu supune izolatoarele efortului (solicitării) combinat al cîmpului electric de înaltă tensiune și al cîmpului de radiație.

— Transformatoarele și metalele în general nu sînt afectate de radiație din punct de vedere electric (variațiile de rezistivitate sînt de ordinul 1‰ sau mai mici, iar revenirea la valorile inițiale se produce la temperaturi de ordinul a 30°K).

— Izolatoarele organice își pierd calitățile izolatoare (deci proiectarea trebuie astfel făcută încît să se evite suporturile izolante din materiale organice ca plexiglas, policlorură de vinil etc.).

— Evident, montajele electronice sînt afectate în funcție de efectele suferite de diferitele componente; un montaj cu piese selecționate, poate lucra fără defecțiuni pînă la iradieri de ordinul a 10^{18} n/cm², adică la un flux de 10^{12} n/cm².s un timp de 10^6 ore, ceea ce întrece cu mult durata de funcționare a tuburilor montajului.

Cercetările efectelor iradierii asupra materialelor folosite în aparatura electronică sînt utile întrucît arată ce materiale pot fi utilizate în cazul iradierii intense a aparaturii; cazuri speciale se pot prezenta atunci cînd aparatura mai este solicitată de:

— un cîmp electric sau magnetic intens (ca de exemplu la acceleratoare, surse de ioni cu generatoare Van de Graaf etc.);

—un cîmp termic (50—80°C în reactoare, sute de grade Celsius în reactoarele energetice care produc vapori supraîncălziți care acționează direct o turbină; se preconizează 280 ata și peste 500°C în zona activă).

Pe de altă parte, cercetările indică fabricilor ce materiale trebuie evitate în construcția însăși a tuburilor și pieselor electronice care lucrează în aceste condiții speciale (sticle, catode cu oxizi, materiale care gazează sau se fărîmițează la iradiere etc.). În prezent, ele permit numai o alegere mai judicioasă a apara-

turii pentru fizica nucleară, folosind materialele existente.

Feritele fiind în general materiale semiconductoare, efectele radiațiilor sînt similare [13]; în ultimul timp au început să fie studiate efectele radiației cosmice asupra diferitelor materiale [14], ca de exemplu rezistența generatoarelor cu semiconductoare la iradiere [15]; o problemă similară (rezistența surselor de tensiune cu termopile la iradierea cu neutroni) a fost pusă la reactoarele nucleare [16].

— La izolatoarele glazurate, prin iradiere se distruge structura cristalină a glazurii (la 10^{18}—10^{19} n/cm²).

— Sticlele se colorează și gazează; își pierd parțial sau total calitățile izolante (la $= 10^{15}$n/cm²).

— Izolatoarele organice: polistiren, policlorura de vinil, metacrilatul de metil polimerizat (plexiglasul) își pierd aproape complet calitățile izolatoare și pe cele mecanice, activîndu-se puternic, la fluxuri integrale de 10^{15}—10^{17} n/cm².

— Redresoarele cu cuproxid rămîn utilizabile, cu remarca că atît rezistența directă cît și cea inversă cresc de cîteva ori, ceea ce duce la creșterea căderii de tensiune pe celulă, și ulterior la distrugerea (străpungerea) ei (la fluxuri integrate de ordinul 10^{14}—10^{16} n/cm²).

— Celulele redresoare, semiconductoarele și transistoarele. Unele celule cu silicon și seleniu nu sînt afectate în funcționare după 200 ore de iradiere la $7 \cdot 10^{11}$ n/cm².s ($\sim 5 \cdot 10^{17}$ n/cm²).

— Celulele cu germaniu își pierd complet proprietățile de redresare (curentul invers devine egal cu cel în sens direct, rezistența de contact scade pînă la scurtcircuitare etc.), după o iradiere cu numai 10^{13}—10^{14} n/cm².

— Transistoarele sînt transformate complet prin iradiere; unele transistoare își schimbă complet structura, benzile de conducție dispar și în consecință amplificarea scade considerabil; practic transistoarele nu mai amplifică începînd de la fluxuri de 10^{14} n/cm². De remarcat că unele structuri donoare pot deveni acceptoare și invers, ajungînd ca un transistor npn să devină pnp înainte de a fi complet destructurat.

Bibliografie

[1] x x x Deistvie iadernîh izlucenii na materiali. Moscova, Izdat Akademii Nauk, 1962.

[2] *Moțoc, C.* Acțiunea radiațiilor nucleare asupra corpului solid. București, Editura Academiei, 1964.

[3] * * * Radiaționnie effekti v tverdîh telah. Tașkent Izdat Akademii Nauk Uzbekskoi SSR, 1963.

[4] * * * Radiation damage in solids. Proceedings of a Symposium, Venice, 1962, 3 volume. Vienna, Edited by IAEA, 1963.

[5] * * * Effects of neutron irradiation in non-fissionable metals and alloys. IAEA, Viena, Bibliographical Series No. 6 1962.

[6] *Mas, P., Drovlers, Y.* Etude de l'influence du spéctre des neutrons rapides sur la création de défauts dans les solides et les liquides. Grenoble Rapport CFA-R 2510, 1964.

[7] *De Lafond.* Colloque sur l'action des rayonnements sur les composants à semi-conducteurs. În: Nucleus, vol, **8**, nr. 4, 1967, p. 353—356.

[8] *Dearnaley,* G. Radiation Damage Effects in Semiconductor Detectors. În: Nucleonics, vol. **33**, nr. 7, 1964.

[9] *Daspet, D., Bielle, J.* ș.a. Influence de la concentration en oxigène dans le silicium N irradié par des électrons de 4,5 MeV. Paris, Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, t. **265**, série B, sept 1967, p. 693—696.

[10] *Bielle, J., Cambou, F.* Influence d'une irradiation par des particules nucléaires sur le temps de comutation de diodes rapides. Paris Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, t. **262** série B, feb 1966, p. 425—428.

[11] *Dubech, G., Daspet, D.* ș.a. Action des particules nucléaires sur les propriétés de transport de monocristaux d'arséniure de gallium de type N et d'antimoniure de gallium de type P. Paris, Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, t. **264**, mart 1967, p. 1362—1364.

[12] *Chapman, C.E.* The Effect of Radiation on Electronic Components, Reprint No. RPP/E3. Chilton, Anglia Rutherford Laboratory, iul 1966.

[13] *Pignebet, J., Genrb, R.* ș.a. Comportement et critères d'utilisation de transistors sous irradiations nucléaires. În: Nuclear Instruments and Methods, vol. **41**, 1966, p. 226—240.

[14] *Elbal, C., Faugère, T.F.* Description de l'environnement spatial, Ilustration de ses effects sur les matériaux. În: Sciences et Industries Spatiales, nr. 11/12, 1967, p. 29—40.

[15] *Didier, L., Bielle, J.,* ș.a. Influence de la composition des cristaux de silicium sur la tenue aux rayonnements, des celules solaires. Paris, Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, vol. 264, mart 1967, p. 879—882.

[16] *Krohova, M., Saxi, I.* Radiacni stabilita termoclanku. Praha, Report U JV 987/64, Ustav Jaderného Vyrkums, 1964.

[17] *Le Clerc, P.* Action des radiations sur les verres. În: Bulletin d'Information Scientifique et Technique, No. 98, nov 1965.

[18] *Gordon, D.I. Sery, R.S., Fischel, R.E.* Radiation Effects in Magnetic materials-Nucleonics, Vol. **16**, No. 6, iun 1958.

[19] *Pasnak, M.* Nav Ord. Raport 4155. U.S. Naval Ordonance Laboratory, 1956.

[20] *Cambon, F. De Lafond,* Action des rayonnements sur les dispositifs à semiconducteurs. Synthèse des résultats sur le colloque de Toulouse de 1967. În: Onde Électrique, Nr. 488, nov 1967.

[21] *Mann, H.M. Yntema, J.L.* În: I.E.E.E. Trans on Nuclear Sci. 11, iul 1964.

[22] *Kramer, G.L.* În: I.R.E. Trans on Nuclear Sci. 9 No. 3, 1961, p. 124.

Intrat în redacție la 19.VII.1968

RECENZII

CZ 621.3.015.532

* * * **Descărcări parţiale în izolanţi** (Les décharges partielles dans les isolants). În : Revue Générale de l'Électricité, tom. **77**, nr. 5, 1968, p. 483—548, 32 ref. bibl.

Pe cuprinsul a nouă articole de specialitate se fac consideraţii asupra descărcărilor parţiale în materiale izolatoare, insistîndu-se asupra următoarelor probleme : criterii de clasificare a materialelor izolatoare ; amplitudinea descărcărilor în cavităţi sferice ; descărcările parţiale în hîrtie impregnată ; utilizarea materialelor electroizolante ; descărcarea parţială în maşinile electrice rotative ; folosirea descărcărilor parţiale pentru controlul alternatoarelor în funcţiune ; influenţa descărcării parţiale asupra nocivităţii uleiului din transformatoare şi asupra duratei de viaţă a izolatoarelor din material plastic. Principalele idei dezvoltate în aceste materiale, cît şi titlurile articolelor se prezintă astfel :

1. *Bui-Ai, R. Lacoste* şi *C. Mayoux*. Cercetarea criteriilor de clasificare a materialelor izolante după rezistenţa lor la acţiunea descărcărilor parţiale (Recherche de critères de classement des matériaux isolants d'après leur résistance à l'action des décharges partielles), p. 483—491.

După descrierea dispozitivului folosit pentru studiul degradării izolatoarelor supuse acţiunii descărcărilor parţiale se pune în evidenţă atît teoretic, cît şi experimental — corelaţia dintre viteza de degajare a hidrogenului şi puterea pusă în cazul descărcărilor. Se propune ca prim criteriu de clasificare a materialelor izolatoare — rezistenţa la descărcări parţiale, un al doilea criteriu fiind numărul total de impulsuri pe secundă valabil doar pentru spaţii unde se produc descărcări.

2. *Y. Kanoun, R. Lacoste* şi *Bui-Ai*. Studiul teoretic şi experimental al spectrului amplitudinii descărcărilor care apar în cavităţi sferice din interiorul unui izolant (Étude théorique et expérimentale des spectres d'amplitude des décharges apparaissons dans les cavités sphériques à l'intérieur d'un isolant), p. 492—499.

Se prezintă experienţele făcute asupra unor epruvete din răşină pe care s-au practicat o serie de cavităţi sferice supuse influenţei unui cîmp alternativ care produce descărcări parţiale în vacuolele de mici dimensiuni. Se trasează spectrele de variaţie ale amplitudinilor impulsurilor culese la bornele unei rezistenţe legată în serie cu eşantionul.

3. *G. Wind* şi *I.F. Morel*. Descărcările parţiale în hîrtia impregnată. Aspectele fenomenologice şi condiţiile de apariţie (Décharges partielles dans le papier imprégné. Aspect des phénomènes et conditions de leur apparition), p. 500—506.

Se pun în evidenţă condiţiile ce caracterizează descărcările parţiale şi se precizează natura fenomenelor care apar în cazul aplicării cîmpului electric unei epruvete ce comportă un izolator cu hîrtie impregnată în ulei mineral. Rezultatele experimentale sînt consemnate într-o serie de curbe ce pot fi folosite în practică.

4. *P. Divan*. Descărcările parţiale şi durata de viaţă a izolanţilor. Unele aspecte ale problemelor puse la utilizare prin evoluţia materialelor electrice (Décharges partielles et durée de vie des isolations. Quelques aspects des problèmes posés aux utilisateurs par l'évolution des matériels électriques), p. 507—510.

Se evocă nevoile resimţite în exploatare în domeniul încercărilor şi a controlului aplicat izolaţiei aparatajului electric. Cercetările făcute asupra descărcărilor parţiale — în domeniul izolaţiilor din structura aparatelor de măsură — au permis cunoaşterea mecanismului de degradare a izolaţiei. Se propune un criteriu de calitate pentru caracterizarea duratei de viaţă.

5. *I. Carbier* şi *F. Grangeot*. Măsurări ale descărcărilor parţiale în maşinile rotative. Interesul lor pentru constructor (Mesures de décharges partielles dans les machines tournants. Leur intérêt pour le constructeur), p. 511—519.

Se descriu fenomenele descărcărilor parţiale care apar în înfăşurările maşinilor rotative în diverse puncte, indicîndu-se gradul de periclitare a funcţionării. Se indică metodele de detectare a descărcărilor. Se arată interesul pe care orice constructor de maşini electrice îl are pentru cunoaşterea efectelor acestor descărcări.

6. *M. Fallou, J. Wendling* şi *S. Zaslavoglu*. Folosirea măsurărilor privind descărcările parţiale pentru controlul alternatoarelor în funcţiune (Utilisation des mesures de décharges partielles pour le contrôl des alternateurs en service), p. 520—526.

După o prezentare sumară a principalelor aspecte teoretice şi practice se descriu metodele de măsură folosite şi se dau rezultatele experimentale sub forma de diagrame. Astfel se indică variaţia inducţiei magnetice în funcţie de timpul de funcţionare a maşinii pentru fiecare fază R,S,T şi a numărului de descărcări în funcţie de amplitudine, care apar în cazul unui alternator supus la o tensiune de 6 kV.

7. *F. Viale*. Contribuţii la studiul corelaţiilor între intensitatea descărcărilor parţiale şi nocivitatea lor asupra izolaţiei unui transformator în ulei (Contribution à l'étude de corrélations entre l'intensité des décharges partielles et leur nocivité vis-a-vis d'une isolation de transformateur dans l'huile), p. 527—539.

Se examinează rezultatele experimentale obţinute pe diverse structuri care reprezintă părţi schematizate ale unui transformator în ulei. Se indică ordinul de mărime al descărcărilor şi se arată consecinţele descărcărilor parţiale pe structurile analizate.

8. *F.H. Creuger*. Durata de viaţă şi descărcările în izolanţii plastici (Durée de vie et décharges internes dans les isolations plastiques), p. 540—542.

Se expune modul de determinare a duratei de viaţă a izolanţilor din material plastic (respectiv din polietilen) supuşi unor descărcări parţiale.

După prezentarea principalelor probleme care intervin se descrie eşantionul folosit la măsurări, indicîndu-se dimensiunile epruvetei. Rezultatele experimentale se dau sub forma de curbe pentru diverse tipuri de materiale plastice folosite drept izolanţi.

9. *Y. Rerolle*. Contribuţii la studiul îmbătrînirii izolanţilor (Contribution à l'étude du vieillissement des isolations), p. 543—347.

Îmbătrînirea izolanţilor — folosiţi în instalaţiile de înaltă tensiune — se pune în evidenţă prin clacaj — care se datoreşte în mare parte descărcărilor parţiale. Se arată corelaţiile dintre mărimile ce caracterizează descărcările parţiale şi durata de viaţă. Se precizează că — pe baza unor experienţe efectuate cu eşantioane de diverse structuri — impurităţile înlesnesc descărcările şi grăbesc îmbătrînirea izolanţilor. Se trasează histogramele pentru cabluri cu izolaţie din polietilenă supuse unei tensiuni de 6—25 kV.

A. Carabulea

REFERATE

CZ 621.3 *Electrotehnică generală*

CZ 621.3.045.59.018.3

Nasar, S. A. **Convertirea electromecanică a energiei în structuri dublu cilindrice cu $n-m$ înfăşurări, în prezenţa armonicilor spaţiale** (Electromechanical Energy Conversion in n — m Winding Double Cylindrical Structures in Presence of Space Harmonics). În: I.E.E.E.Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS—**87**, nr. 4, aprilie 1968, p. 1 099—1 106, 2 fig. 12 ref. bibl.

În ultimul timp, în literatura de specialitate înlocuirea repartiţiei reale a curenţilor prin pînze de curent, utilizînd descompunerile în serie Fourier, a devenit un lucru frecvent. Cu toate acestea, dificultăţile de calcul limitează studiul pentru armonica I. În această lucrare autorul descrie una dintre primele metode de tratare sintetică a maşinii asincrone ţinînd seamă de toate armonicile pînzei de curent, metodă care reprezintă o generalizare a lucrărilor lui White şi Woodson. Folosind un calculator numeric IBM 7090, se prezintă programul de calcul şi rezultatele predeterminării caracteristicilor mecanice ale unui motor logaritmic cu 45 de faze pe stator şi 41 pe rotor, cu luarea în considerare a armonicilor impare pînă la ordinul 11.

Rezultatele experimentale sînt apropiate de cele calculate, verificînd astfel metoda propusă.

Se trage concluzia că metoda este adecvată pentru maşini cu un număr mare de faze statorice, acolo unde armonicile de cîmp au o pondere importantă.

R.M.

CZ 537.222.029.3:621.3.011.1

Akhtar, M. Y. **Caracteristicile de frecvenţă ale sarcinilor statice în sisteme electrice** (Frequency-dependent power-system static-load characterics). În: Proceedings of the Institute of Electrical Engineers, nr. 9, 1968, p. 1307 — 1317, 7 fig., 22 ref.bibl.

Importanţa caracteristicilor sarcinii unui sistem în regim tranzitoriu a fost pe larg discutată în literatura de specialitate, dar dependenţa acestor caracteristici cu frecvenţa de-abia în ultimul timp a început să fie amintită. În această lucrare, se face un studiu general al comportării sarcinilor statice active şi reactive, la variaţii de frecvenţă în domeniul 46,5 — 52,5 Hz, precum şi efectul lor de amortizare în sistem.

Sînt luate în considerare sarcini de formă: lămpi cu descărcări în gaze, redresoare sau lămpi cu vapori de mercur, cuptoare cu arc şi elemente de sudură electrică, prezentîndu-se caracteristicile lor de frecvenţă.

În final, utilizînd un calculator numeric, se face studiul stabilităţii unui sistem cu o sarcină de tip combinat (redresoare cu mercur, cuptoare şi elemente de sudură cu arc, sarcini rezistive, motoare asincrone) prezentîndu-se răspunsul lui la diverse fenomene tranzitorii (scurtcircuite, întreruperi etc.).

Citînd o bogată literatură, articolul ni se prezintă ca o lucrare de sinteză cu importante părţi originale.

R.M.

CZ 621.313 *Maşini electrice*

CZ 621.313.333:621.712.2

* * * **Mari motoare asincrone la tensiune înaltă. Ventilaţia internă a motoarelor de mare putere** (Les gros moteurs asynchrones à haut tension. La ventilation aérodinamique interne des gros moteurs). In: Revue Générale de l'Électricité, tom **77**, nr. 9, 1968.

Pe cuprinsul a două articole se dezvoltă probleme teoretice şi practice privind ventilarea motoarelor electrice de mare putere conectate la tensiuni înalte. Se dă o metodă de calcul şi se formulează algoritmul pentru rezolvarea problemei cu ajutorul unui ordinator. Rezumatul principalelor idei şi titlul materialelor se indică astfel:

1. M. Gourdet. Aerodinamica internă a motoarelor asincrone autoventilate (L'aérodynamique interne des moteurs asynchrones auto-ventiles), p. 859—864, 7 fig.

După indicarea dificultăţilor care intervin la studiul ventilaţiei motoarelor de mare putere se arată că studiul unor asemenea motoare trebuie făcut asupra fiecărei părţi componente ale maşinii.

Se stabileşte fluxul de căldură şi posibilităţile de eliminare, insistîndu-se în special asupra măsurilor ce se aplică statorului şi rotorului motoarelor asincrone mari. Măsurătorile se fac asupra unor motoare asincrone de 2800 kV, 1488 rot/min, conectate la tensiunea de 11 kV şi la o frecvenţă de 50 Hz, ventilate radial.

Atît consideraţiile teoretice, cît şi măsurătorile scot în evidenţă o serie de măsuri care pot aduce avantaje nete în practica de exploatare a motoarelor asincrone de mare putere.

2. F. Breduce. Studiul experimental privind aerodinamica internă a unui motor închis, avînd puterea de 500 kW şi turaţia 1500 rot/min.

Punerea la punct a unei metode de calcul pe ordinator (Étude expérimentale de l'aerodynamique interne sur un moteur fermé à tubes de 500 kW à 1500 tr/min. Mise au point d'une mèthode de calcul sur ordinateur), p. 865 — 870, 5 fig.

Pentru a calcula repartiţia căldurii în interiorul unei maşini electrice rotative este necesar să se cunoască repartiţia debitului de aer în maşină. Se propune o metodă experimentală prin exploatarea unui tub Pitot aşezat deasupra unei maşini în funcţiune sau asupra unei maşini în repaus ventilată cu două ventilatoare auxiliare. Se indică o metodă de calcul a repartiţiei căldurii în interiorul maşinii electrice de mare putere cu ajutorul unui ordinator de debit în diverse circuite a maşinilor studiate. Comparînd metoda produsă cu alte căi folosite în prezent, se scot în evidenţă avantajele noii metode pentru eliminarea căldurii din motoarele electrice de mare putere.

Consideraţiile teoretice cuprind referiri la modul de construire a schemei echivalente a maşinilor studiate şi repartiţia debitului şi presiunii calculate în fasciculul tubular.

Experimentările cuprind descărcarea operaţiilor efectuate asupra unui motor asincron de mare putere şi arată modul în care au decurs măsurătorile, cît şi rezultatele obţinute pe modelul practic.

La sfîrşitul materialelor se poartă o discuţie amănunţită asupra importanţei teoretice şi practice a noilor concepte privind ventilarea motoarelor electrice de mare putere.

A.C.

CZ 621.313.333 – 573.044.53

De Jong, H. C. J. **Performanţele de pornire ale motoarelor sincrone cu poli aparenţi lamelaţi** (Starting Performanc. of Synchronous Motors with Laminated Salient Poles) În: I.E.E.E. Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS—**87**, nr. 4, aprilie 1968, p. 1 083—1 098, 19 fig., 18 ref. bibl.

Motorul sincron, larg folosit astăzi în diverse acţionări, este cel mai adesea pornit în regim asincron.

Predeterminarea caracteristicilor de pornire în asincron a maşinii sincrone ridică probleme delicate proiectanţilor şi foarte adesea rezultatele teoretice nu concordă cu cele experimentale. Pornind de la ecuaţiile lui Park, autorul prezintă un studiu detaliat al acestor caracteristici de pornire pentru maşina ideală (fierul are permitivitate infinită, se neglijează curenţii turbionari induşi, distribuţia înfăşurării statorice este sinusoidală, sub poli întrefierul este uniform, rezistenţa inelelor de scurtcircuitare a amortizoarelor este zero), caracteristici care în ciuda ipotezelor simplificatoare folosite sînt suficient de apropiate de realitate.

În continuare se studiază influenţa diverşilor factori (numărul de bare de amortizare, distribuţia lor, variaţia rezistenţei înfăşurării de excitaţie şi a amortizoarelor, existenţa de elemente semiconductoare în circuitul de excitaţie) asupra caracteristicilor de pornire, precum şi posibilităţile de limitare a cuplurilor pulsatorii.

În încheiere, se ajunge la concluzia că pentru o bună pornire reactanţele tranzitorii pe cele două axe trebuie să fie aproximativ egale, şi că pentru o distribuţie corespunzătoare a barelor amortizoare cuplurile pulsatorii pot fi reduse la un minimum acceptabil. *R.M.*

CZ 621.313.322.042.12.013.3

Erdélyi, E. A., Sarma, S. M. şi Coleman, S. S. **Cîmpurile magnetice în alternatoarele neliniare cu poli aparenţi** (Magnetic Fields in Nonlinear Salient Pol Alternators). În: I.E.E.E. Transactions on Power Apparatus and Systems, nr. 10, 1968, p. 1 848—1 856, 10 fig., 6 ref. bibl.

Determinarea pe cale analitică a inducţiei în întrefierul unei maşini electrice este cu atît mai dificilă cu cît ipotezele simplificatoare sînt mai apropiate de realitate.

Prezenţa dinţilor, neliniaritatea circuitului magnetic fac imposibilă rezolvarea problemei prin mijloacele clasice (separarea variabilelor, transformări conforme, funcţii Green etc.) şi numai metodele de relaxaţie, folosind calculatoare numerice, pot fi utilizate.

În articol se determină, prin metoda reţelelor, potenţialul vector (şi deci inducţia magnetică) în întrefierul unei maşini sincrone neliniare cu poli aparenţi, echilibrat încărcată. Problema bidimensională este rezolvată într-o combinaţie de coordonate polare şi rectangulare, considerînd permeanţa materialului funcţie univocă de inducţie magnetică.

Autorii prezintă programul de calcul (limbaj Fortran) şi rezultatele obţinute pentru o maşină sincronă de 2 750 kVA, 2 300 V, 60 Hz, 900 rot/min, rezultate cu o convergenţă satisfăcătoare pentru 100—200 iteraţii.

R.M.

CZ 621.314 *Transformarea energiei electrice*

CZ 621.314.58.025.3

Li, K.Y.G. **Un nou invertor trifazat** (New 3-phase invertor circuit). În: Proceedings of the Institute of Electrical Engineers, nr. 11, 1968, p. 1 677—1 683, 15 fig., 9 ref. bibl.

Acţionările moderne ale maşinilor de curent alternativ cu o gamă largă de viteze cer o frecvenţă de alimentare variabilă, frecvenţă care în ultimul timp este obţinută utilizînd invertoare cu tiristoare. În acest articol se prezintă un nou tip de invertor (ondulor) care permite simultan o comandă de frecvenţă şi tensiune, invertor cu un randament peste 90%, simplu şi cu largi posibilităţi de aplicare. Se dau caracteristicile de funcţionare ale unui astfel de ondulor de 24 A, 150 V, cu frecvenţă de lucru de la 0 la 50 Hz, precum şi tensiunile şi curenţii obţinuţi la alimentarea unui motor asincron de 3 kW. În final, se prezintă un nou tip de protecţie a acestui invertor împotriva suprasarcinilor sau scurtcircuitelor, precum şi un sistem de circuit — trigger de comandă.

R.M.

CZ 621.316 *Distribuţia energiei electrice. Protecţia aparatelor şi instalaţiilor*

CZ 621.316-98

Wiesinger, I. **Corturi de protecţie contra loviturilor de trăsnet** (Tentes de protection contre les coups de foudre). În: Bull. ASE **59**, nr. 21, 1968, p. 1 012—1 017, 9 fig., 13 ref.

După o trecere în revistă a dezvoltărilor cunoscute de tehnica de protecţie contra loviturilor de trăsnet, în special cele produse asupra persoanelor ce se găsesc în aer liber, se descriu efectele nocive ale curentului de trăsnet asupra organismului, acţiunea asupra pielii şi sistemului nervos. Statisticile făcute în R.F. a Germaniei arată că aproximativ jumătate din numărul celor accidentaţi se recrutează din rîndul muncitorilor ce lucrează în spaţii deschise, agricultori, pădurari, constructori sau turişti.

Se descrie un cort individual de protecţie a cărui greutate nu depăşeşte 4 kg (deci uşor transportabil), cu o structură din vergele metalice ce face din acesta o adevărată cuşcă Faraday. Construcţia rezistă la viteze ridicate ale aerului, verificate în prealabil în tunele aerodinamice, 100 km/h.

Experimentările făcute au arătat că legarea la pămînt nu este absolut indispensabilă întrucît o tensiune de milioane de volţi nu provoacă în timpul unei descărcări nici o tensiune periculoasă în interiorul cuştii. Rezistenţa ohmică a carcasei metalice atinge 1,7 mΩ şi nu provoacă datorită acestui fapt nici în cazul celor mai mari valori ale pantei curentului (100 kA), încălziri mai mari de 7°C. Construcţiile realizate deschid un larg cîmp de utilizare.

Fl.T.

CZ 621.317 *Tehnica măsurărilor electrice. Aparate de măsură*

CZ 621.317.785.088.22

Tschappo, F. **Erori adiţionale ale contoarelor de energie reactivă legate artificial în reţelele trifazate cu patru fire** (Erreurs additionnelles des compteurs d'énergie réactive en branchement artificiel dans les réseaux triphasés, 4 fils), În: Bull. ASE **59**, nr. 17, 1968, p. 800—807, 15 fig.

Se analizează posibilităţile de cuplare a contoarelor de energie reactivă în reţele arătînd că indicaţiile contorului montat artificial nu sînt corecte decît atunci cînd triunghiul tensiunilor este simetric. În cazul în care acesta este deformat, cazul cel mai frecvent întîlnit în reţele, apar erori adiţionale care depind de gradul de disimetrie al tensiunilor reţelei, tensiuni ce pot fi reprezentate cu ajutorul componentelor simetrice; se pot stabili relaţii simple între disimetrie şi eroarea adiţională cînd sarcina este simetrică. Din aceste formule rezultă că eroarea este totdeauna negativă pentru toate disimetriile de tensiune ce pot apare şi că este independentă de unghiul φ. În cazul unei sarcini simetrice, dacă abonatul nu prezintă o sarcină reactivă, indicaţia contorului este corectă oricare ar fi triunghiul tensiunilor, lucru acceptabil atît pentru furnizor cît şi pentru consumator.

În cazul sarcinilor asimetrice, erorile depind de valoarea componentelor simetrice ale tensiunii, de poziţia lor şi unghiul φ. Pînă la un grad de disimetrie de 5%, eroarea se poate reprezenta aproximativ prin mărimea componentelor simetrice sub sarcină reactivă pură, caz în care eroarea adiţională este negativă. Eroarea creşte cu gradul de disimetrie a sistemului.

Se prezintă şi situaţia în care sarcina este monofazată, caz în care eroarea cuprinde o componentă independentă de unghiul şi alta dependentă de cotangenta sa.

Fl.T.

CZ 621.32 *Iluminatul electric*

CZ 621.325.1

* * * **Lămpile electrice Flash** (Les Lampes Flash). În: Revue Générale de l'Électricité, tom **77**, nr. 9, 1968.

Pe cuprinsul a două materiale de specialitate se expun caracteristicile şi se arată modul de exploatare a lămpilor electrice denumite Flash folosite în domeniul artei fotografice.

1. R. Chastel şi M. Tachoire. Măsurarea randamentului unor surse de lumină cu impuls (Mesure du rendement de quelques sources impulsionnelles de lumière), p. 871—879, 9 fig., 3 tab., 20 ref. bibl.

Tehnica prezentată foloseşte o pilă termoelectrică formată dintr-un cilindru cu celulă calorimetrică înfăşurată într-un material ce formează un termocuplu crom-constantan. Acest cuplu este repartizat uniform între cilindru şi blocul metalic izoterm.

Razele luminoase care iau naştere în celula colorimetrică sînt absorbite în întregime de materialul celulei. Astfel se naşte o tensiune electromotoare termoelectrică care se poate înregistra sub forma unei termograme.

Plasînd o sursă luminoasă cu impulsuri în interiorul celulei, se obţine un flux dublu de energie şi căldură. Se arată modul de separare a energiei luminoase şi al căldurii şi se determină randamentul noii surse. Acest procedeu se foloseşte la studiul filamentelor metalice şi al celor gazoase, astfel încît se poate stabili care este sursa cea mai adecvată în tehnica fotografică.

2. M.L. Toison. Tehnica şi caracteristicile lămpilor Flash (Technique et caracteristiques des lampes Flash), p. 880—885, 7 fig.

După o scurtă prezentare a tehnologiei de fabricaţie a lămpilor Flash se indică noi aspecte privind îmbunătăţirea fabricaţiei şi metodele de determinare a caracteristicilor.

Se examinează şi lămpile electrice speciale folosite pentru fotografierea în culori. Se arată care sînt problemele ce apar în cazul folosirii lămpilor Flash în diverse cazuri practice, insistîndu-se în special asupra reflectoarelor miniaturizate. Se fac incursiuni asupra tipurilor noi de lămpi electrice Flash de tip electronic, arătîndu-se avantajele în raport cu cele cu combustie.

A.C.

CZ 621.37 *Tehnica oscilaţiilor*

CZ 621.372.018.782.3

Gorohov, V. A. **Procesele tranzitorii la stingerea tiristoarelor** (Perehodnîie proţessî pri vîkliucenii tiristorov). În: Radioelectronika, izv. VUZ, vol. **XI**, nr. 3, 1968, p. 254—266, 8 fig., 3 ref. bibl.

Timpul de stingere al tiristoarelor este factorul principal care limitează frecvenţa lor maximă de lucru. Din această cauză studiul proceselor tranzitorii la stingerea tiristoarelor prezintă un interes deosebit.

Tiristorul aflat în conducţie poate fi blocat prin mai multe metode, din care două sînt cele mai des folosite: inversarea polarităţii tensiunii anodice şi aplicarea unui impuls negativ de blocare pe poarta (electrodul de comandă al tiristorului). Ultima metodă poate fi aplicată doar în cazul tiristoarelor bioperaţionale, care se pot stinge pe electrodul de comandă.

În lucrare sînt analizate procesele tranzitorii la stingerea tiristoarelor cu ajutorul metodei sarcinii, adaptate pentru structura semiconductoare cu patru straturi (pnpn). Sînt investigate procesele tranzitorii la stingerea tiristoarelor pe anod şi pe electrodul de comandă (poartă). Rezultatele teoretice au fost verificate experimental cu ajutorul tiristoarelor bioperaţionale de tipul KU201 şi D235, precum şi cu diode de comutaţie pnpn de tipul D227. Este arătată influenţa regimurilor de stingere (întreruperea circuitului anodic, amplitudinea curentului invers, durata scăderii curentului anodic) asupra timpului de stingere al tiristoarelor cu două baze subţiri şi al tiristoarelor cu o bază groasă.

S-a constatat că timpul de stingere al tiristoarelor este determinat de recombinarea sarcinii în baza subţire şi în cea groasă lîngă joncţiunea centrală J_2. A rezultat deci că, pentru micşorarea timpului de stingere al tiristoarelor este util să se micşoreze timpul de viaţă al purtătorilor de sarcină în toată masa cristalului.

Rezultatele investigaţiilor au dovedit că timpul de stingere nu depinde de amplitudinea curentului invers pentru tiristoarele cu o bază groasă şi se micşorează după o funcţie logaritmică în cazul tiristoarelor cu două baze subţiri.

În cazul stingerii tiristoarelor pe poartă (electrodul de comandă) timpul de blocare este determinat nu numai de timpul de scădere al curentului anodic dar şi de timpul de recombinare a sarcinii în baza groasă, pînă la un anumit nivel. Există un timp minim de stingere strict determinat, care nu poate fi micşorat prin mărirea amplitudinii semnalului de blocare, aplicat pe electrodul de comandă al tiristorului.

A. S.

CZ 621.38 *Dispozitive electronice*

CZ 621.3.015.11.016.352 ;621.385.2

Bogoduhov E. S. **Stabilizatoare de tensiune cu diode de comutaţie** (Stabilizatorî napriajenia na perekliuciaiuşcih diodah). În: Electromehanika, izv. VUZ, nr. 10, 1068, p. 1 108—1 112, 7 fig. 1 ref. nibl.

Particularităţile caracteristicii voltamperice a diodelor de comutaţie permit folosirea acestora pentru realizarea diverselor scheme de stabilizatoare de tensiune. Autorul examinează două scheme de stabilizatoare parametrice de tensiune, prezentînd şi dependenţa tensiunii stabilizate de parametrii elementelor folosite în aceste circuite.

Tensiunea la ieşirea stabilizatorului de curent continuu este determinată de suma suprafeţei (ariei) formată într-una din alternanţele sinusoidei de un limitator cu diodă de comutaţie şi a suprafeţei determinată de un limitator serie cu diodă.

În cazul stabilizatorului de curent alternativ se foloseşte reglarea de fază printr-o tensiune de compensare. Tensiunea la ieşirea stabilizatorului este egală cu diferenţa dintre tensiunea de alimentare şi cea de compensare.

Avantajele acestor scheme constau în simplitatea lor, în posibilitatea stabilizării tensiunii în limite destul de largi, precum şi în posibilitatea obţinerii unei tensiuni la ieşire de cîteva sute de volţi cu diode de comutaţie de tensiuni mici. Pe lîngă aceste avantaje, circuitele prezentate au şi o serie de inconveniente. Tensiunea stabilizată depinde de sarcină, iar coeficientul de stabilizare variază în limite considerabile la creşterea temperaturii mediului înconjurător în funcţie de calitatea diodelor de comutaţie. De asemenea, pentru a suprima distorsiunile tensiunii la ieşire, este necesar să se folosească filtre.

A. S.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. Pl. Andronescu; prof. dr. doc. şt. tehn. I. S. Antoniu, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. şt. tehn. A. Avramescu — redactor responsabil; ing. V. Bunea; ing. V. Ciofu; prof. dr. doc. şt. tehn. V. Corlăţeanu; ing. ŞT. Grosu; prof. dr. G. Hortopan — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. Lazaride; conf. ing. D. F. Lăzăroiu; ing. M. Opaschi; ing. A. Popa; prof. ing. Cristiana Popescu; ing. Vl. Popovici; acad. prof. dr. doc. şt. tehn. ing. R. Răduleţ; ing. R. Vlădoianu.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare şi Publicaţii tehnice al M.I.C.M., cu sediul în Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, secrorul 1, telefon redactor şef: 14.90.72. Redacţia: Bucureşti, str. Ion Ghica, nr. 3, sector IV; telefon secretar general de redacţie: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon 16.21.70 interior 173. Instituţiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 40060300 Banca Naţională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, Bucureşti. Tarif pentru instituţii şi întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informaţia", Bucureşti, str. Brezoianu, nr. 23 — 25, c. 3370. *Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 10/10275/1968.*

41 400

ORSTAROS MUZEUM
BIBLIOTHEK

SOMMAIRE

C.D.621.3.011.001.24 :537.212

Andreescu, N. : **La détermination par interation de la solution de l'équation de Poisson, pour un champ plane, dans le domaine compris entre deux cercles concentriques.**

Electrotehnica **17,** no. 6, juin 1969, p. 205–210

La méthode permet de résoudre l'équation de Poisson, pour des champs planes, dans le cas du domaine double connexe, compris entre deux cercles concentriques, ayant une configuration déterminée des sources. La méthode est exemplifiée pour le champs électriques en régime électrocinétrique stationnaire et elle est appliquée pour établir une méthode de mesurage de la conductibilité électrique sur de petites pièces en forme d'anneaux.

C.D.621.3.014.32. :538.323.

Suciu, I. : **Les forces électrodynamiques qui sollicitent les systèmes triphasés à conducteures équidistants dans l'éspace pendant la durée transitoire de court-circuit.**

Electrotehnica **17,** no. 6, juin 1969, p. 210–217

On approfondit l'étude de certains problèmes concernant le calcul des forces électrodynamiques qui s'appliquent à un systèmes de trois conducteurs équidistants dans l'éspace pendant la durée du régime transitoire en court-circuit triphasé et on présente deux méthodes grapho-analytiques pour la détérmination des diagrammes de la variation en temps et en éspace de ces forces.

C.D.621.311.163–53.004.4.

Creţa, V. : **Groupes électrogènes à fonctionnement automatiques utilisés en tant que groupes d'intervention.**

Electrotehnica **17,** no, 6, juin 1969, p. 217–223

L'ouvrage traite de l'opportunité de l'utilisation des groupes électrogènes d'intervention à fonctionnement automatiques ainsi que les problèmes fondamenteaux concernant leur constuction et leur fonctionnement parfait. On a reussi en même temps à faire une classification de ces groupes, qui tient compte de la durée pendant laquelle ils assument, en as d'avarie, l'alimentation des consommateurs.

A la fin de l'article on indique quelques réalisations dans ce domaine éffectuées par l'Usine de Machines Électriques-Bucarest.

C.D.621.312.621.316.56.027.7.004.2

Ogrezeanu, Şt. : **Le contrôle de la qualité de la fabrication des appareils de haute tension.**

Electrotehnica **17,** no, 6 juin, 1969, p. 224–231

Le devéloppement de la production d'appareils électriques de haute tension à l'usine „Electroputere" a imposé le perfectionnemant de la construction et de la technologie d'exécution de ces appareils ainsi que le perfectionnement du contrôle de la fabrication.

Dans cet article on présente les conditions réquises pour le système de contrôle et le mode d'organisation du réseau de contrôle, établis conformément au spécifique des produits et de la fabrication. On présente la disposition des postes de contrôle et on indique quelques nouvelles méthodes de vérification sommaire des instalation respectives.

Au moyen d'un emplacement judicieux des postes de contrôle et par la vérification avec les méthodes indiquées et des moyens précis on assure la livraison d'appreils ayant un bon fonctionnement pendant l'exploitation.

C.D.621.315/316 :621.382. :539.163.

Ionescu, G. et *Fochianu, V.* : **Nouveaux résultats concernant l,action des radiations sur les materiaux et les dispositifs électroniques et électrotechniques.**

Electrotehnica **17,** no, 6, juin 1969, p. 232–240

On passe en revue les modifications survenues aux materiaux et aux dispositifs électroniques et électrotechniques soumis à un champs de rayons radio-actifs. L'ouvrage s'adresse aux cadres techniques engagées dans la construction des appareils déstinés à fonctioner dans des champs de radiations ainsi qu'au personnel technique ou de laboratoire qui utilisent ces appareils dans les champs de radiations.

Comptes-rendus **241**

Référats **242—244**

TITLURI DOCUMENTARE

CZ 621.3 ELECTROTEHNICĂ GENERALĂ

CZ 621.3.537.523.3
Kindij, E. **Efectul corona la înaltă tensiune.** In : Elektrotech. Z (ETZ-B) **21**, nr. 2, 24 ian 1969, p. 30—36, 18 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.3.064.1
Wenzel, G. **Intreruptor sincron mecanic.** In : Elektrie, **23**, nr. 1/969, p. 40—41, 2 fig., 3 ref. bibl.

CZ 621.313 MAŞINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU ŞI ALTERNATIV. GENERATOARE. MOTOARE.

CZ 621.313.13.025.3 :621.316.54.064. :621.313.333.2.001.5
Berger, Th., Forkmann, H. şi *Wolgramm G.* **Calculul frecvenţei admisibile de comutaţie a motoarelor de inducţie trifazate de mică putere cu motorul colivie.** In : Elektrie **22**, nr. 11, nov 1968, p. 434—436, 1 fig. tab. 6 ref. bibl.

CZ 621.313.17
Budig, P.K., Timmel, H. şi *Dittrich, W.* **Alegerea parametrilor motoarelor liniare folosite pentru deplasarea vehiculelor pe şine** In : Elektrie, **22** nr. 10, oct 1968, p. 405—408, 6 fig., 3. tabele.

CZ 251.313.3.621.3.045.53 :621.3.048.1 :.620.199.918.4
Schmidt, D. : **Asupra duratei de viaţă a izolaţiei de înaltă tensiune a maşinilor electrice sub influenţa oscilaţiilor de amplitudine mare.** In : Elektrie **22**, nr. 11, nov 1968, p. 441—445, 8 fig., 2 tabele.

CZ 621.314 TRANSFORMAREA ENERGIEI ELECTRICE. TRANSFORMATOARE. CONVERTIZOARE. REDRESOARE. COMUTATRICE.

CZ 621.314.236.621.327.43
Bader, J. **Transformatoare de curent constant pentru tuburile luminoase de înaltă tensiune.** In : Elektrotech. Z (ETZ-B) **21**, nr. 1, 10 ian 1969, p. 1—9, 9 fig., 1 tab., 20 ref. bibl.

CZ 621.314.57/58
Seefried, E. **Convertizor de frecvenţă cu circuit intermediar de curent continuu pentru alimentarea maşinilor trifazate.** In : Elektrie, **23**, nr. 1. 1969, p. 24—26, 3 fig., 1 tab.

CZ 621.314.572 :621.311.68
Roderer, H. **Sursă de alimentare cu invertoare statice cu tiristoare.** In : Elektrotech. Z (ETZ-B) **20**, nr. 24, 29 nov 1968, p. 701—705, 6 fig.

CZ 621.315 TRANSMISIA ENERGIEI ELECTRICE. LINII AERIENE. CABLE. CONDUCTOARE. MATERIALE IZOLANTE. MATERIALE DE INSTALAŢII.

CZ 621.315.337.4 :621.314.212
Ruhlmann, R. **Conductori emailaţi, pentru transformatoare cu răcire lichidă.** In : Elektrotech. Z **20**, nr. 26, 27 dec 1968, p. 763—765, 2 fig.

CZ 621.315.61—418
Golbig, W. şi *John, H.* **Proprietăţile şi utilizarea benzilor izolate cu lac pentru izolarea maşinilor electrice.** In : Elektrie **22**, nr. 11, nov 1968, p. 441—445, 8 fig., 2 tab.

CZ 621 .315.615.2 :533.15/17
Pedersen, B. **Degazarea şi absorbţia de gaze prin uleiurile izolante sub influenţa descărcărilor electrice.** In : Revue Brown Boveri, **55**, nr. 4/5 1958, p. 222—229, 6 fig., 28 ref. bibl

CZ 621.315.616.96—418.621.39
Leich, K. şi *Kieninger, W.* **Utilizarea benzilor izolante adezive în aparatele de telecomunicaţii.** In : Elektrotech. Z (ETZ-B) **20**, nr. 24, 29 nov 1968, p. 708—712, 5 fig., 3 tab. 3 ref. bibl.

CZ 621.315.619
Kull, U. **Comportarea dielectricului complex în straturi de ulei-hîrtie la tensiune înaltă continuă.** In : Revue Brown Boveri **55**, nr. 4/5 1968, p. 215—222, 6 fig., 6 ref. bibl.

CZ 621.315.62.001.5
Streubel, H. **Recomandări pentru încercarea izolatoarelor cu depuneri străine pe suprafaţă.** In : Elektrie **22**, nr. 8, aug 1968, p. 317—318, 2 fig., 3 refl. bibl.

TITLURI DOCUMENTARE

(continuare)

CZ 621.316 DISTRIBUIREA ENERGIEI ELECTRICE. REȚELE. REDESCHIDEREA ȘI INCHIDEREA CIRCUITELOR. REGLAREA MĂRIMILOR ELECTRICE. PROTECTIA APARATELOR ȘI INSTALATIILOR.

CZ 621.316.5.015.3
Glavitsch, H., Petitpierre, R. și *Ruoss, E.* **Influența dijonctorilor asupra tensiunii provocate prin manevrele de închidere în rețelele de foarte înaltă tensiune.** In : Revue Brown Boveri **55** nr. 4/5 1968, p. 167—175, 7 fig., 6 ref. bibl.

CZ 621.316.5.064.31
Eidinger, A. și *Köppe, G.* **Tensiunea de restabilire tranzitorie în diferite exemple de rețea de înaltă tensiune cu linii aeriene și cabluri.** In : Revue Brown Boveri **55**, nr. 4/5 1968. 175 — 182, 7 fig., 11 ref. bibl.

CZ 621.316.925.45
Gautner, J. **Diferite moduri de euplaj a dispozitivului de protecție la distanță Brown Boveri, cu transmiterea unui semnal la postul de transformare opus.** In : Brown Boveri **55**, nr. 7, 1968, p. 365—372, 8 fig. 10 ref. bibl.

CZ 621.316.727.621.319.4.015.38
Hochhäusler, P. **Fenomenele de încărcare în instalațiile de compensație, avînd ca rezultat clacarea condensatorilor.** In : Elektrotech. Z (ETZ-B) **20,** nr. 25, 13 dec 1968, p. 737—740, 10 fig.

CZ 621.316.925.45
Narayan, V. **Dispozitiv de protecție la distanța pentru linii de înaltă tensiune funcționînd cu condensatoare în serie.** In : Revue Brown Boveri **55**, nr. 7, 1968, p. 372—383, 9 fig., 14 ref. bibl.

CZ 621.316.933.4 2
Latal, W. și *Schmidt, W.* **Studierea comportării paratrăsnetelor în poluții artificiale.** In : Revue Brown Boveri **55**, nr. 4/5, 1968, p. 182—188, 5 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.316.99 :621.316.925
Agel, H. și *Reuter, E.* **Punerea la pămînt indirectă pentru perioade scurte pentru detectarea defectelor.** In : Elektrotech. Z (ETZ-B) **20**, nr. 26, 27 dec 1968, p. 757—760, 1 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.317 TEHNICA MĂSURILOR ELECTRICE. APARATE DE MĂSURĂ.

CZ 621.317.2.027.8
x x x **Un nou laborator de tensiune foarte înaltă la Bamberg.** In : Elektrotech. Z (ETZ-B) **21**, nr. 2, 24 ian 1969, p. 28—30, 4 fig.

CZ 621.317.333.4
Koblitz, W. **Localizarea punerilor la pămînt în rețelele de joasă tensiune cu neutrul izolat.** In : Elektro-Proktiker, **21**, nr. 5, mai 1967, p. 159—160, 4 fig., 6 ref. bibl.

CZ 621.318 APLICATII INDUSTRIALE ALE MAGNETISMULUI ȘI MAGNETILOR. ELECTROMAGNETI. RELEE.

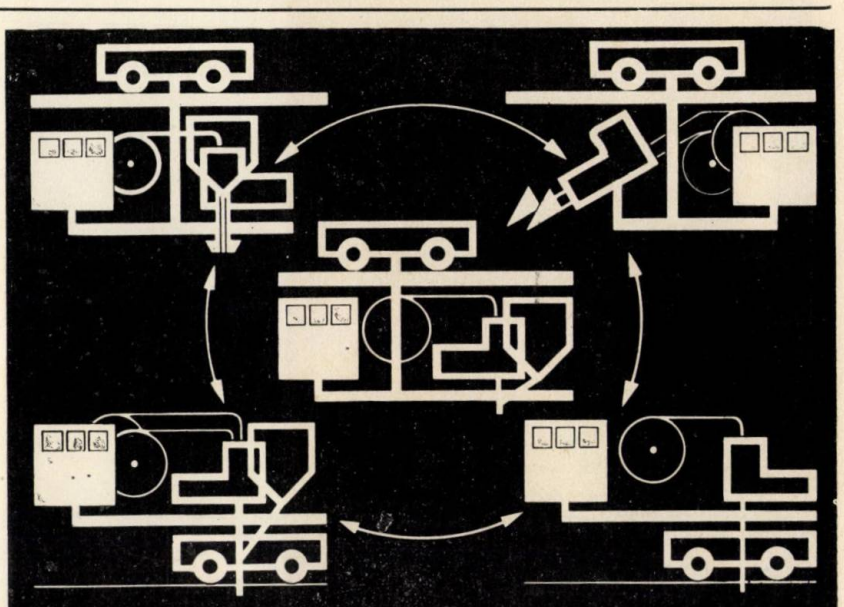
CZ 621.318.124.029.8.
Chiron, B. **Noi dispozitive cu ferită pentru ultra înaltă freevență.** In : L'onde électr. **47**, nr. 483, iunie 1967, p. 743—748, 13 fig.

CZ 621.318.44.078
Ballwieser, H. **Mașini automate de bobinat.** In : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **20**, nr. 25, 13 dec 1968, p. 737—740, 10 fig.

Adaptarea la condiții tehnologice diferite

se cere astăzi tehnicii de sudură în exploatare. În aacest scop este necesar un utilaj de sudură cu o adaptabilitate sporită. Automatele de sudură Kjellberg oferă această posibilitate. Prin reechipare ele se pot transforma rapid și sigur pentru diferite procese. Automatul de sudură Kjellberg model UT se va utiliza pentru sudura cu sîrmă UP monofilară sau multifilară, cu sîrma CO_2 monofilară, pentru sudura profilată UP și CO_2 cu unul sau cu două brațe, precum și pentru sudarea benzilor. Acest automat poate funcționa pe piesa de prelucrat, pe un dispozitiv rulant sau suspendat de un astfel de dispozitiv. Cu minimum de dispozitive se pot obține astfel posibilități maxime de utilizare.

Informați-vă deci asupra automatelor noastre universale de sudare.



Kjellberg
FINSTERWALDE

ELEKTRODEN & MASCHINEN GMBH IN VERWALTUNG DDR—798 FINSTERWALDE

REPUBLICA DEMOCRATĂ GERMANĂ

Exportator :

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK-DDR 104 BERLIN CHAUSSEESTRASSE 111/112

Cei interesați se pot adresa la :

Biroul tehnic-comercial DIA Elektrotechnik din cadrul Reprezentanței comerciale a Ambasadei Republicii Democrate Germane în Republica Socialistă România, Calea Dorobanților, 14, București.

SUDAREA ELECTRICĂ ÎN BAIE DE ZGURĂ

În ultima vreme, tehnologia avansată de sudare electrică în baie de zgură este larg răspîndită în întreaga lume. În U.R.S.S. procedeul este aplicat îndeosebi la construcţiile metalice cu pereţi groşi. Avantajele sudării electrice în baie de zgură sînt următoarele:

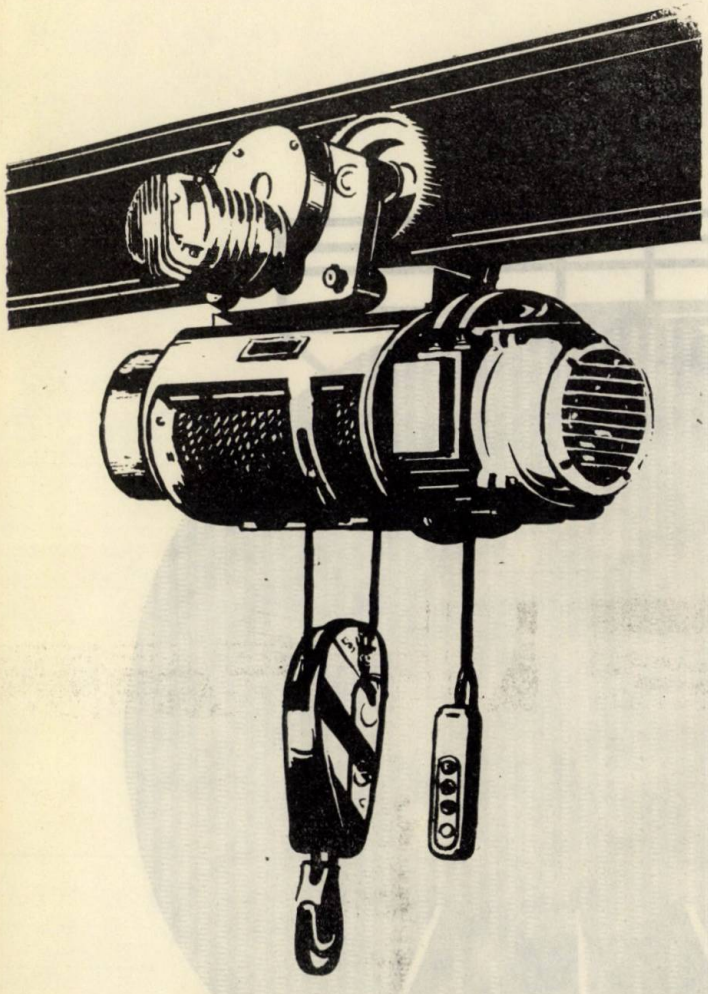
- Într-o singură trecere se pot suda metale cu grosimi diferite, fără schimbarea poziţiei pieselor.
- Fuziunea metalului se realizează cu mult mai repede decît la sudarea în mai multe straturi.
- Deformarea este limitată ca urmare a încălzirii uniforme a suprafeţei materialului.
- Nu este necesară pregătirea prealabilă a muchiilor. Pentru îmbinări de primă calitate trebuie să se asigure numai planeitatea suprafeţelor muchiilor.
- Datorită greutăţii mici a construcţiei se realizează o economie însemnată.
- Durata de fabricaţie se micşorează de aproape 15 ori faţă de durata corespunzătoare sudării în mai multe straturi. Metoda de sudare electrică în baie de zgură se utilizează la fabricarea cazanelor, recipienţilor de înaltă presiune, utilajului de construcţii, utilajului chimic şi pentru industria atomică.

V/O „ENERGOMAŞEXPORT" prezintă o serie de produse sovietice pentru sudarea electrică în baie de zgură: A-612, A-535, A-820 M, A-681 p, A-1150 şi A-645; maşina A-612 cu autoreglare şi tracţiune proprie, cu un electrod, este destinată sudării cap la cap a metalelor de orice lungime, cu grosimea de 20—10 mm; maşina universală A-535 pentru cusăturile cap la cap verticale, cu grosimea pînă la 250 mm, utilizează între unu şi trei electrozi. Maşina poate fi echipată cu un electrod lamelar, putîndu-se astfel suda metale cu grosimea pînă la 800 mm. De asemenea, este posibil reglajul pentru alte regimuri de lucru. Pentru sudarea îmbinărilor inelare se pot ataşa dispozitive suplimentare; maşina A-645 cu bec fuzibil este destinată sudării pieselor cu forme neregulate; se foloseşte îndeosebi la executarea diferitelor lucrări de reparaţii (sudarea batiurilor preselor, a pieselor utilajelor pentru laminare etc.); aparatul A-820 M execută într-o singură trecere sudarea cu arc electric sub flux. Execuţia forţată a cusăturilor cap la cap verticale se realizează prin intermediul unor glisiere de cupru, răcite cu apă. Grosimea metalului sudat variază între 8 şi 50 mm; aparatul A-681 p serveşte la sudarea în baie de zgură a tablelor de oţel dispuse vertical, sau înclinat, la un unghi pînă la 45° faţă de verticală. Grosimea metalului sudat este de 14—60 mm; aparatul A-1150 este destinat lucrărilor de sudură la montaj şi pe şantiere de construcţie. Aparatul poate fi utilizat la execuţia cusăturilor verticale cu arc electric şi la sudarea în baie de zgură. în timpul operaţiei aparatul se deplasează pe piesa sudată. Sudarea se execută cu electrod poros fără flux sau gaz protector. Grosimea metalului sudat este cuprinsă între 8 şi 30 mm.

Exportator: **V/O ENERGOMAŞEXPORT — U.R.S.S., Moscova V-330**
Mosfilmovskaia, 35, Telex 255 — *Agenţia locală:* **STROIEXPORT**

ENERGOMACHEXPORT

PUBLICOM

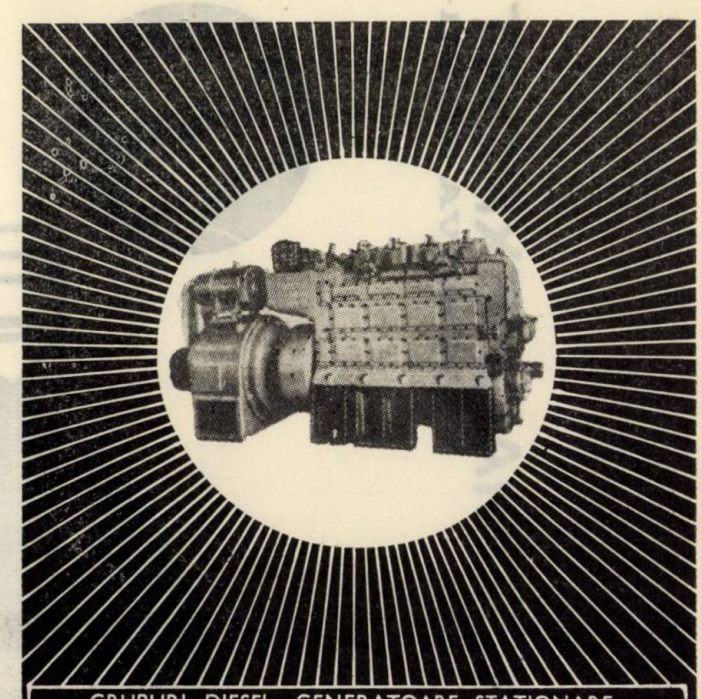


CONSTRUCȚIE UȘOARĂ ȘI COMPACTĂ, EXPLOATARE SIGURĂ ȘI COMODĂ

Pentru orice fel de manevrări
BALKANCAR oferă:
PALANE ELECTRICE CU CABLU pentru sarcini de la 250 la 12 500 kgf, înălțime de ridicare de la 6 la 36 m.
Se acceptă comenzi de palane electrice în execuție normală sau specială.

Informații detaliate și oferte.
BALKANCARIMPEX, Sofia, Bulgaria.

balkancar



GRUPURI DIESEL–GENERATOARE STAȚIONARE
4DGA–19/30, 6DGA–19/30 ȘI DGA–300

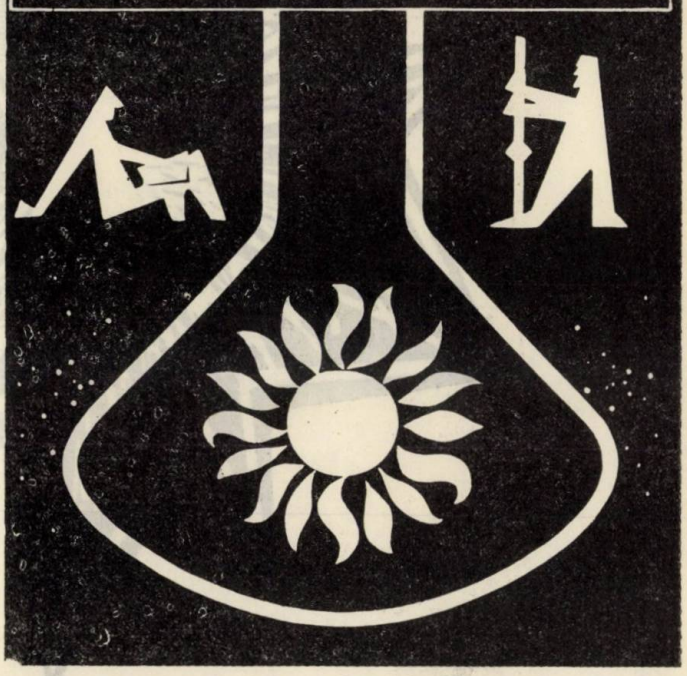
Putere: 125, 205 și 300 kW; tensiune: 400/230 V; turația 500,600,500 rot/min; fregvența: 50 Hz

Durata de funcționare pînă la reparația capitală 30.000... 40.000h

Se caracterizează prin durabilitate, economicitate în exploatare și comoditate de deservire. Pot funcționa independent și în paralel cu alte agregate similare sau cu rețeaua electrică.

La dorința beneficiarului se execută în variante speciale, pentru țări cu climat tropical umed.

Informațiile se cer la adresa:



U.R.S.S., Moscova V—330 Mosfilmovskaia, 35
V/O „Energomașexport" Telex 255

Publicom

ENERGOMACHEXPORT
MOSKVA SSSR

În procesul tehnologic de fabricație a diferitelor construcții metalice se realizează o rezistență mecanică înaltă a îmbinărilor sudate și o economicitate ridicată prin utilizarea AUTOMATELOR și SEMIAUTOMATELOR DE SUDURĂ ÎN MEDIU DE GAZE PROTECTOARE.

Agenția unională „Energomașexport" prezintă automate și semiautomate de construcție modernă pentru execuția celor mai diverse lucrări de sudură. Modelele АПДГ — 500, ПДГ — 301, ПДГ — 302, А—537, А—547 у, А — 825М, УДГ — 301 și УДГ — 501 se bucură de o bună reputație în producția industrială.

Semiautomatele permit executarea lucrărilor în diferite poziții în spațiu. Capetele de sudat au greutate redusă și prezintă comoditate în exploatare.

Informații se cer la adresa:

V/O „Energomașexport" U.R.S.S., Moscova V—330
Mosfilmovskaia, 35, Telex 255

For advertisments in rumanian periodicals apply to

PUBLICOM

Modern, efficient advertising on the Rumanian market in full progress of economic development

RUMANIAN PUBLICITY AGENCY
BUCHAREST, RUMANIA – B-DUL N. BĂLCESCU No. 22
TEL.: 14.75.35

PUBLICOM

PUBLICOM

Faites votre publicité dans la presse roumaine de spécialité en vous adressant à

PUBLICOM

Réclame moderne, frappante, efficace, s'adressant au marché roumain en pleine évolution économique

AGENCE ROUMAINE DE PUBLICITÉ
BUCAREST, ROUMANIE – B-DUL N. BĂLCESCU No. 22
TEL.: 14.75.35

Werben Sie in der rumänischen Fachpresse durch

PUBLICOM

Moderne und wirksame Reklame auf dem aufstrebenden rumänischen Markt

RUMÄNISCHE WERBEAGENTUR
BUKAREST, RUMÄNIEN – B-DUL N. BĂLCESCU No. 22
FERNRUF: 14.75.35

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

DIN BUCUREȘTI, — BD. T. VLADIMIRESCU 45-47 — TELEFON 31 41 00

Электротехнический Научно-исследовательский и Проектный Институт.

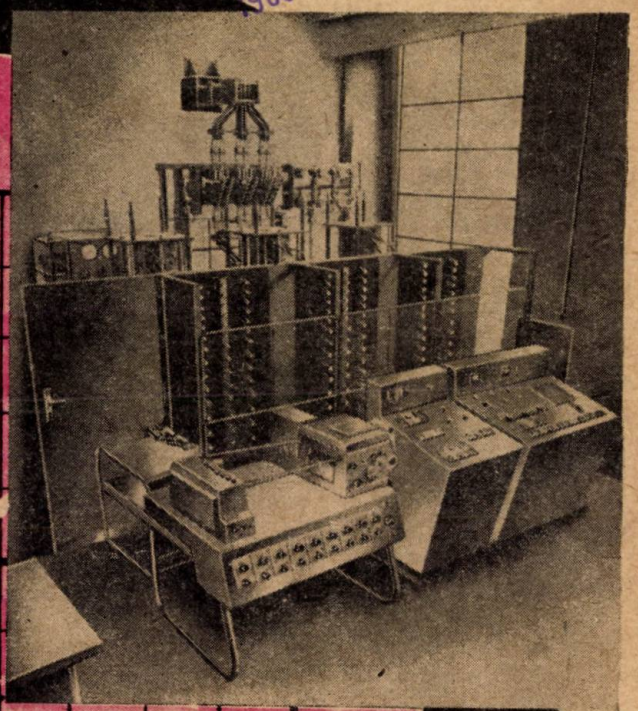
Electrical Engineering and Research Institute

Forschungs-und Projectierungsinstitut für die Elektroindustrie

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Électrotechnique

ICPE

1969 SEP 23



ICPE

Primește comenzi de cercetare și proiectare, cu profil electrotehnic.

Institutul execută studii, încercări, omologări și prototipuri din domeniul mașinilor și transformatoarelor electrice, aparatelor de joasă și înaltă tensiune, acționărilor electrice, climatizării produselor industriale, calculelor cu mașini electronice, materialelor electrotehnice.

E 2040

RETERÁLVA

ELECTROTEHNICA

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 17 • Nr. 7—8 • IULIE—AUGUST 1969

7-8

Cu prilejul

Expoziției Realizărilor Economiei Naționale

ELBA

I.I.S. Electrobanat

TIMIȘOARA

EXECUTA
SI LIVREAZA
CORPURI
DE ILUMINAT
CU:
TUBURI
FLUORESCENTE,
LAMPI
CU VAPORI
DE MERCUR,
PENTRU
INTERIOARE
INDUSTRIALE,
CLADIRI
PUBLICE,
PRECUM ȘI
PENTRU
ILUMINATUL
EXTERIOR

Pentru achiziționarea acestor produse adresați-vă la

I.I.S. Eelectrobanat Timișoara Str. Pestalozzi 22

E 2040

ELECTROTEHNICA

Anul 17 Nr. 7—8 iulie—august 1969

CUPRINS

CZ 621.312 : 33(498)

Mihulecea, C. : **Industria electrotehnică — factor de importanţă deosebită în dezvoltarea tuturor ramurilor economiei naţionale.**

Electrotehnica **17**, nr. 7—8, iulie — august 1969, p. 245—251

Se prezintă ritmurile de dezvoltare, mai rapide în comparaţie cu alte ramuri industriale, ale industriei electrotehnice şi electronice din Republica Socialistă România în perioada 1950—1970 şi felul în care această subramură a contribuit la satisfacerea necesităţilor dezvoltării economiei naţionale, la valorificarea superioară a materiilor prime şi la creşterea valorii specifice a produselor complexe.

Se arată că în perioadele 1971—1975 şi 1976—1980 industria electrotehnică şi electronică va trebui să se dezvolte în continuare în ritm susţinut prin asimilarea de noi tehnici şi diversificarea producţiei, în vederea pătrunderii tot mai accentuate a automatizărilor şi electronicii în toate ramurile economiei naţionale.

Se subliniază perspectivele cercetării ştiinţifice şi aportul ce i se cere în contextul dezvoltării prevăzute cît şi eficienţa economică superioară a industriei electrotehnice şi electronice.

CZ 621.312 (498) „1945/1969"

Vlădoianu, R. : **Realizări în industria electrotehnică**

Electrotehnica **17**, nr. 7—8, iulie — august, 1969, p. 252—256

Se prezintă dezvoltarea industriei electrotehnice cu principalele realizări înregistrate în ultimii ani în cadrul diferitelor grupe de produse care-i aparţin. Această dezvoltare se desfăşoară, aşa cum prevăd Directivele Congresului al X-lea al Partidului Comunist Român, în scopul satisfacerii cerinţelor mereu crescînde de produse electrotehnice şi la un nivel tehnic şi calitativ cît mai ridicat.

CZ 621.313.17 : 621.312

Lăzăroiu, D. F. şi *Slaiher, S.* : **Stadiul actual şi perspective în fabricaţia de micromotoare.**

Electrotehnica **17**, nr. 7—8, iulie-august 1969, p. 257—268

În lucrare se prezintă clasificarea micromaşinilor cu principalele probleme tehnico-ştiinţifice care sînt actuale pentru dezvoltarea în continuare a acestui domeniu. Se prezintă micromaşinile fabricate în Republica Socialistă România şi nivelul tehnic al producţiei.

CZ 621.313.333.3 : 621.312

Berberianu, Al. : **Evoluţia seriei unitare de motoare asincrone normale.**

Electrotehnica **17**, nr. 7—8, iulie-august, 1969, p. 269—275

Se prezintă premisele care au condus la fabricarea, în anul 1960, a seriei unitare de motoare asincrone normale în conformitate cu prescripţiile CEI, precum şi performanţele ei şi variantele electrice şi constructive realizate.

În continuare se arată cauzele şi efectele revizuirii seriei, în 1969, precizîndu-se liniile pe care în continuare se urmăreşte ameliorarea ei în sensul reducerii consumurilor specifice şi tendinţele experimentărilor în vederea unei standardizări complete pe linie internaţională.

CZ 621.314.2 : 621.312

Liculescu, M., Cîrstea, D., Răducanu, I. și *Marinescu A.*: **Realizări și perspective în fabricația de transformatoare de putere**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, iulie-august 1969, p. 276–287

Se prezintă un material de sinteză privind principalele realizări și perspective ale fabricației de transformatoare de putere din Republica Socialistă România. Sînt astfel prezentate evoluția fabricației, stadiul actual al proiectării și tehnologiei, preocupările pentru soluții noi și cîteva aspecte din cercetarea științifică în domeniul transformatoarelor pînă la puteri de 400 MVA și tensiunea de 400 kV. În cuprinsul lucrării sînt citate lucrările originale din domeniul construcției, tehnologiei și cercetării aplicative a transformatoarelor.

CZ 621.315.2 : 621.312

Arești eanu, H. și *Mihăescu, M.*: **Dezvoltarea industriei de cabluri și conductoare din Republica Socialistă România**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8 iulie-august, 1969, p. 288–290

Articolul face o trecere în revistă a dezvoltării industriei românești de cabluri și conductoare, furnizînd informații asupra ritmului de dezvoltare în diferite compartimente de fabricație precum și a evoluției gradului de dotare cu echipamentele necesare acestei fabricații.

Se arată cum, în funcție de cerințele mereu crescînde ale potențialului energetic din țara noastră, s-a procedat la o diversificare importantă a tipurilor și tipo-dimensiunilor de cabluri și conductoare adoptînd soluții constructive moderne astfel încît nivelul tehnic al acestor produse să poată fi comparabil cu nivelul tehnic mondial. Se indică de asemenea unele din mijloacele progresului tehnic folosite pentru a aduce această producție la nivelul tehnicei actuale.

Articolul cuprinde în partea finală o descriere în perspectivă a viitoarelor dezvoltări în acest domeniu.

CZ 621.315.6 : 621.312

Macău, I.: **Preocupări în diversificarea materialelor electroizolante**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, iulie-august 1969, p. 291–295

Diversificarea producției electrotehnice, obținerea de produse cu caracteristici și randamente sporite au necesitat folosirea unor noi tipuri de materiale electroizolante, lacuri și conductoare de bobinaj. Rezultatele cercetărilor și studiilor întreprinse de specialiștii Fabricii de Cabluri și Materiale Electroizolante sînt concretizate în obținerea a peste 120 de tipuri de materiale electroizolante de clasă superioară de izolație E, B, F și H, ceea ce a permis industriei electrotehnice obținerea de produse cu gabarite din ce în ce mai reduse, cu performanțe la nivelul tehnicii actuale. Astfel, în lucrare se prezintă realizările obținute la F.C.M.E. în aceste domenii.

CZ 621.316.3/9.027.2 : 621.312

Cănescu, T. și *State, N.*: **Aparatajul electric de joasă tensiune — fabricația actuală și perspective.**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, iulie – august, 1969, p. 296–302

Se prezintă succint unele date generale privind repartizarea producției de aparataj de joasă tensiune pe uzine, indicatori tehnico-economici globali, aspecte referitoare la dezvoltarea capacităților de producție, dotarea cu mijloace tehnice moderne a sectoarelor de fabricație și a laboratoarelor precum și realizările mai importante în domeniul produselor noi, menționîndu-se elementele de noutate și principalele caracteristici tehnice. În final se prezintă cîteva dintre produsele noi care urmează a fi puse în fabricație în viitorul apropiat.

CZ 621.335.2 – 833.6 + 721.335.222 : 621.312

Lehrer, S. şi *Enăchescu, A.* : **Realizări şi perspective în fabricaţia de locomotive diesel-electrice şi electrice.**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, iulie-august, 1969, p. 303–309

Se trec în revistă realizările obţinute la Uzinele Electroputere Craiova cu privire la locomotivele diesel-electrice şi electrice. Se prezintă : dinamica producţiei de locomotive, din 1960 şi pînă în prezent ; problemele mai importante ridicate de organizarea unei fabricaţii de serie ; îmbunătăţirile tehnice mai importante aplicate în fabricaţia şi construcţia locomotivelor ; datele tehnice şi parametrii mai importanţi ai locomotivelor diesel-electrice şi electrice fabricate. Se dau unele informaţii despre activitatea de cooperare în fabricaţia locomotivelor. Se arată în continuare pe scurt cîteva din preocupările de perspectivă privind diversificarea fabricaţiei şi extinderea exportului de locomotive diesel-electrice şi electrice.

CZ 621.791.75 : 621.312

Grosu, Şt., Ionescu, D. şi *Popescu, C.* : **Tehnica surselor pentru sudarea electrică cu arc**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, iulie-august, 1969 p. 310–316

Se prezintă produsele reprezentative, sub aspectul importanţei industriale şi al concretizării unor soluţii noi şi anume : transformatoarele de sudare (TASM-300, TSAP-2, TS-1000) ; convertizoarele rotative (CS-350 şi CS-500) ; redresoarele de sudare.

În legătură cu securitatea muncii, se prezintă un dispozitiv de electrosecuritate, adaptabil în special la transformatoarele de 300 A, şi care reduce tensiunea la mers în gol la secundar, la o valoare nepericuloasă.

În a doua parte a lucrării sînt prezentate realizările privind dezvoltarea industriei şi a cercetării ştiinţifice, pentru sursele de sudare.

CZ 628.94 : 621.326/7 : 621.312

Gligorescu, D. : **Evoluţia fabricaţiei de corpuri de iluminat electric**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, iulie-august 1969, p 317–321

Se precizează principalele grupe de corpuri de iluminat ce se execută la Intreprinderea Electrobanat Timişoara : corpuri de iluminare şi semnalizare optică pentru autovehicule, autotractoare, locomotive, vagoane, vapoare ; corpuri de iluminat industriale pentru surse incandescente, fluorescente şi cu vapori de mercur. Se prezintă evoluţia fiecărei grupe de corpuri de iluminat cu precizarea performanţelor obţinute şi perspectivele de viitor. Se arată importanţa reducerii preţului de cost şi rezultatele obţinute alături de performanţele tehnice realizate, pentru asimilarea corpurilor de iluminat cu parametri superiori, necesitatea cunoaşterii caracteristicilor surselor de lumină precum şi tendinţele de evoluţie în viitor. În vederea asigurării unei calităţi superioare şi a unui preţ de cost cît mai redus la corpurilor de iluminat, se arată preocupările ce există în domeniul autoutilării sculăriei şi al organizării ştiinţifice a producţiei şi a muncii.

CZ 629.113 : 621.3 : 621.312

Trifu, Gh. : **Fabricaţia de echipament electric pentru autovehicule şi perspectivele în acest domeniu**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, iulie-august, 1969 p. 322–328

În prima parte se prezintă un scurt istoric al producţiei de echipament electric pentru autovehicule, din ţara noastră, cifre şi diagrame privitoare la creşterea volumului producţiei de echipament electric auto pentru perioada 1959—1969—1972 precum şi privitoare la creşterea numărului de sortimente electrice pe autovehiculele româneşti în raport cu modernizarea acestora. În partea a II-a se face o clasificare a echipamentului electric auto, după funcţia pe care o îndeplinesc diferitele maşini şi aparate din cadrul acestui echipament, în şase sisteme funcţionale de bază.

În ultima parte se prezintă rezultatele obţinute la noi în ţară privitor la îmbunătăţirea sistemelor clasice de echipament electric auto precum şi preocupările şi rezultatele obţinute în acest domeniu.

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.312(498)

Михулечя, К.: **Электротехническая промышленость — особо важный фактор в развитии всех отраслей народного хозяйства.**

Electrotehnica **17**, № 7—8, июль—август, 1969, стр. 245—251

Описаны более важные темпы развития электротехнической и электронной промышленности в Социалистической Республике Румынии, в период 1950—1970 гг по сравнению с другими промышленными отраслями, а также и роль этой подотрасли в удовлетворении требований развития народного хозяйства, в лучшем использовании сырья и увеличении удельного значения комплексных изделий.

Показано, что в периоды 1971—1975 и 1976—1980 гг электротехническая и электронная промышленность должна будет усилить темы развития путем освоения новой техники и расширения ассортимента изделий, с целью более интенсивного внедрения автоматики и электроники во все отрасли народного хозяйства.

Отмечаются перспективы научного исследования и его значение в намечаемом развитии, а также высокая экономичная эффективность электротехнической и электронной промышленности.

ДК 621.312.(498),,1945/1969"

Елэдояну, Р.: **Достижения электротехнической промышленности**

Electrotehnica **17**, № 7—8, июль—август, 1969, стр. 252—256

В статье проводится обзор развития электротехнической промышленности, подчеркивая достижения последних лет в области производства электротехнических изделий. Это развитие осуществляется в соответствии с директивами X-го Съезда Р.К.П. с целью удовлетворения все-возрастающего спроса на эти изделия, при обеспечении высокого технического и качественного уровня.

ДК 621.313.333.3 : 621.312

Лэзэроиу, Д.Ф.и.Слайхер, С.: **Актуальная стадия и перспективы производства микромоторов**

Electrotehnica **17**, № 7—8, июль—август, 1969, стр. 257—268

Работа содержит классификацию микромашин и основные научно-технические проблемы, актуальные для дальнейшего развития этой области. В продолжение представлены микромашины румынского производства и технический уровень производства.

ДК 621.314.2 : 621.312

Берберяну, Ал. **Эволюция единичной серии нормальных асинхронных двигателей**

Electrotehnica **17**, № 7—8, июль—август, 1969, стр. 269—275

Излагаются предпосылки, положенные в основу производства, в 1960 году, единной серии нормальных асинхронных двигателей в соответствии с рекамендациями CEI, а также их показатели и осуществленные электрические и конструктивные варианты.

В продолжение указываются причины и эффекты перепроектирования серии, в 1969 году, и уточняются дальнейшие направления по осуществлению снижения удельных расходов, и тенденции экспериментирования в области полной стандартизации в международном масштабе.

ДК 621.315.2 : 621.312

Ликулеску, М., Кырстя, Д., Рэдукану, И. и *Маринеску, А.*: **Достижения и перспективы производства силовых трансформаторов**

Electrotehnica **17**, № 7–8, июль—август. 1969, стр. 276–287

Представлен синтезный материал по основным достижениям и перспективам производства силовых трансформаторов в Социалистической Республике Румынии. Описывается эволюция производства, актуальная стадия проектирования и технологии, намечаемые задачи по разработке новых решений и некоторые аспекты научного исследования в области трансформаторов, мощностью до 400 мгва и напряжением 400 кв. Дается обзор оригинальных работ из области конструкции, технологии и исследования трансформаторов.

ДК 621.315.6 : 621.312

Арештяну, Г. и *Михэеску, М.*: **Развитие кабельной и проводниковой промышленности в Социалистической Республике Румынии**

Electrotehnica **17**, № 7–8, июль—август, 1969, стр. 288–290

Проводится обзор развития румынской кабельной и проводниковой промышленности и описывается темп развития в тарличных производственных отделах, а также эволюция степени оснащения аппаратурой, необходимой для данного производства.

Показывается, как в зависимости от непрерывно растущих требований энергетического потенциала в Румынии, увеличились типы и типо-размеры кабелей и проводников, применяя современные конструктивные решения с целью обеспечения этим изделеиям мирового технического уровня.

Указываются также некоторые меры технического прогресса, применяемые для поднятия этого производства на уровень современной техники.

В заключение сообщается о перспективном развитии в этой области.

ДК 621.315.6 : 621.312

Макэу, И.: **Намечаемые задания в связи с расширением видов электроизоляционных материалов**

Electrotehnica **17**, № 7–8, июль—август 1969, стр. 291–295

Расширение видов электротехнического производства, получение изделий с высокими характеристиками и показателями, вызвало необходимость применения новых типов электроизоляционных материалов, лаков и обмоточных проводников. Результаты исследований и работ, проведенных специалистами Завода Кабелей и Электроизоляционных материалов конкретизируются в осуществлении свыше 120 типов электроизоляционных материалов высокого класса изоляции Е, В, Ф и Н, что позволило электротехнической промышленности получить изделия уменьшенных габаритов, с показателями на уровне современной техники. В работе показаны достижения Ф.С.М.Е. в этой области.

ДК 621.316.3/9.027.2 : 621.312

Кэнеску, Т. и *Стате, Н.*: **Электрическая аппаратура низкого напряжения — актуальное производство и перспективы**

Electrotehnica **17**, № 7–8, июль—август, 1969, стр. 296–302

Дается краткое описание общих данных, а именно: распределение производства приборов низкого напряжения по заводам, технико-экономические показатели, аспекты дальнейшего развития производственных мощностей, оснащение производственных секторов и лабораторий современными техническими средствами, а также более важных достижений в области новых изделий, подчеркивая элементы новизны и основные технические характеристики. В заключение представлено несколько новых изделий, предусмотренных к производству в ближайшем будущем.

ДК 621.335.2–833.6+621.335.222 : 621.312

Лерер, С. и *Энэкеску, А.*: **Достижения и перспективы производства тепловозов и электровозов**

Electrotehnica **17**, № 7–8, июль—август, 1969, стр. 303–309

Проводится обзор достижений завода Electroputere — Craiova в отношении тепловозов и электровозов. Описываются: динамика производства локомотивов, с 1960 г. до настоящего времени; более важные проблемы, возникшие при организации серийного производства; более значительные технические усовершенствования, внесенные в производство и конструкцию локомотивов; технические данные и более важные параметры выпускаемых тепловозов и электровозов. Даются информации о деятельности по кооперированию производства локомотивов. В продолжение затрагиваются некоторые перспективные вопросы в связи с расширением видов производства и экспорта тепловозов и электровозов.

ДК 621.791.75 : 621.312

Гросу, Шт., Ионеску, Д. и *Попеску, К.*: **Техника источников для электродуговой сварки**

Electrotehnica **17**, № 7–8, июль—август, 1969, стр. 310–316

Представлены репрезентативные изделия, с точки зрения промышленного значения и конкретизирования новых решений, а именно: сварочные трансформаторы (TASM—300, TSAP—2, TS—1000); вращающиеся преобразователи (CS—350 и CS—500); сварочные выпрямители. В связи с безопасностью труда, представлено устройство электробезопасности, применяемое главным образом к трансформаторам в 300 а, которое снижает напряжение при работе вхолостую на вторичной обмотке, на безопасное значение. Во второй части работы описаны осуществления, касающиеся развития промышленности и научных исследований, для источников сварки.

ДК 628.94 : 621.326/7 : 621.312

Глигореску, Д.: **Эволюция производства светильников**

Electrotehnica **17**, № 7–8, июль—август, 1969, стр. 317–321

Уточняются основные группы светильников, выпускаемых предприятием Electrobanat—Timişoara: светильники для освещения и оптической сигнализации для автомашин, автотракторов, паровозов, вагонов, пароходов; промышленные светильники накаливания, флуоресцентные и ртутные. Представлена эволюция каждой группы светильников, отмечая полученные результаты и перспективы на будущее. Показано значение снижения себестоимости и результаты, полученные наряду с техническими показателями, для освоения светильников с высокими параметрами, необходимость ознакомления с источниками освещения и их дальнейшая эволюция. Для обеспечения высокого качества и наиболее низкой себестоимости светильников, излагаются намеченные задания в области самооснащения инструментальных цехов и научной организации производства и труда.

ДК 629.113 : 621.3 : 621.312

Трифу, Г.: **Производство автомобильного электрооборудования и перспективы в этой области**

Electrotehnica **17**, № 7–8, июль–август, 1969, стр. 322–328

В первой части приводится краткий исторический очерк производства электрической аппаратуры для румынских автомашин, цифры и диаграммы, свидетельствующие о росте объема и ассортимента этой продукции в период 1959—1969—1972 гг. в соответствии с ее модернизацией. Во второй части проводится классификация автомобильного электрооборудования по функциям, выполняемым различными машинами и аппаратами в рамках этого оборудования, на шесть основных функциональных систем.

В последней части приводятся результаты, полученные в Румынии по улучшению классических систем автомобильного электрообурудования, а также перспективные задачи в этой области.

1972.III.3. 61o191

2

I 4069/72

fn

Lazaroiu Dimitru F.

A türpemotorok gyártásának jelenlegi helyzete és perspektivája.
Elektrotechnika, 1969. 17. sz.

[illegible]069

[illegible]orgy/Ro

Ta

1972 MAR 7

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.312 (498)

Mihulecea, C. : **Die Elektroindustrie — ein Faktor besonderer Bedeutung in der Entwicklung aller Zweige der Nationalökonomie.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli–August 1969, S. 245–251

Dargestellt werden die Entwicklungsphasen, die verglichen mit anderen Industriezweigen der elektrotechnischen und elektronischen Industrie der Sozialistischen Republik Rumänien in der Periode 1950—1970 — sich schneller aufeinander folgten, sowie die Art in der dieser Zweig zur Befriedigung der Bedürfnisse bzgl. Entwicklung der Volkswirtschaft, zur besseren Bewertung der Rohstoffe und zur Steigerung des spezifischen Wertes der Komplexerzeugnisse beitrug.

Man zeigt dass in den Zeitabschnitten 1971—1975 und 1976—1980 die elektrotechnische und die elektronische Industrie sich weiterhin im anhaltenden Rythmus entwickeln muss und dies durch Aneignung neuer technischen Verfahren und durch eine grössere Mannigfaltigkeit in der Produktion, eine wachsende Einführung der Automatisierung und der Elektronik in alle Zweige der Volkswirtschaft.

Unterstrichen werden die Aussichten der wissenschaftlichen Forschung und der hiervon erwartete Beitrag zur vorgesehenen Entwicklung sowie die höhere, wirtschaftliche Bedeutung der elektrotechnischen und elektronischen Industrie.

DK 621.312 (498) „1945/1969"

Vlădoianu, R. : **Leistungen auf dem Gebiet der elektrotechnischen Industrie.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli – August 1969, S. 252–256

Dargestellt wird die Entwicklung der elektrotechnischen Industrie in ihren Leistungen, welche in den letzten Jahren im Rahmen der verschiedenen Erzeugnisgruppen verzeichnet wurden. Diese Entwicklung erfolgte gemäss den Richtungslinien des X. Kongresses der Rumänischen Kommunistischen Partei mit dem Zweck der Erfüllung des ständig wachsenden Verlangens nach elektrotechnischen Erzeugnissen, möglichst hohen technischen und qualitativen Niveaus.

DK 621.313.17 : 621.312

Lăzăroiu, D. F. und *Slaiher, S.* : **Jetziger Stand und Aussichten auf dem Gebiet der Mikromotoren.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli-August 1969, S. 257–268

Die Arbeit bringt die Einteilung der Mikromaschinen einschl. der hauptsächlichen technisch-wissenschaftlichen Probleme, die zur Weiterentwicklung auf diesem Gebiet aktuell sind. Besprochen werden die in der Sozialistischen Republik Rumänien hergestellten Mikromaschinen sowie der technische Entwicklungsstand der Fabrikation.

DK 621.313.333.3 : 621 312

Berberianu, Al. : **Die Entwicklung der Einheitsreihe bei normalen Asynchronmotoren.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli-August 1969, S. 269–275

Man erörtert die Voraussetzungen, die im Jahr 1960 zur Fabrikation der Einheitsreihe bei normalen Asynchronmotoren entsprechend den CEI-Vorschriften führten sowie die dadurch erzielten Leistungen, die verschiedenen Abarten in elektrischer und konstruktiver Hinsicht.

Ferner werden die Gründe und die Folgen der Serienrevidierung im Jahr 1969 gezeigt und dabei die Richtungen, in denen man deren Verbesserung durch Reduzierung des spezifischen Verbrauchs anstrebt sowie die Zwecke der Versuche zur Erreichung einer vollkommenen Standardisierung auf internationaler Linie.

DK 621.314.2 : 621.312

Liculescu, M., Cîrstea, D., Răducanu, I. und *Marinescu, A.* : **Leistungen und Aussichten bei der Herstellung von Leistungstrafos.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli-August 1969, S. 276–287

Es wird ein Synthesematerial aufgeführt bzgl. der Hauptleistungen und der Fabrikationsaussichten bei Leistungstransformatoren in der Sozialistischen Republik Rumänien. Dabei werden die Fabrikationsentwicklung, der heutige

Stand der Projektierung und der Technologie, die Vorarbeiten zwecks neuer Lösungen und einige Angaben wissenschaftlicher Forschung auf dem Gebiet der Transformatoren bis 400 MVA und 400 kV behandelt. Hervorgehoben werden in dem Aufsatz auch die Originalarbeiten auf den Gebieten der Konstruktion, der Technologie und der Anwendungsforschungen bei Transformatoren.

DK 621.315.2 : 621.312

Arești eanu, H. und *Mihăescu, M.* : **Die Entwicklung der Kabel- und Leiterindustrie in der Sozialistischen Republik Rumänien.**

Electrotehnica **17**, H.7–8, Juli-August 1969, S. 288–290

Der Aufsatz enthält die Entwicklung der rumänischen Kabel-und Leiterindustrie und bringt zugleich Angaben bzgl. des Entwicklungsrythmus auf den verschiedenen Fabrikationsgebieten sowie bzgl. der Ausstattung mit der entsprechenden Ausrüstung.

Man zeigt wie man mit den ständig wachsenden Forderungen des energetischen Potentials unseres Landes eine wichtige Vervielfältigung der Typen und der Abmessungen bei Kabeln und Leitern vornahm und dabei moderne Herstellungslösungen anwandte um das technische Niveau dieser Erzeugnisse mit dem Weltniveau vergleichbar zu machen. Man gibt auch einige Mittel des technischen Fortschrittes an, die dabei verhalfen, diese Produktion auf die Höhe der modernen Technik zu bringen.

Abschliessend werden Entwicklungsaussichten auf diesem Gebiet besprochen.

DK 621.315.6 : 621.312

Macău L. : **Bemühungen zur Typenbereicherung der elektrischen Isolierstoffe.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli-August 1969, S. 291–295

Die Typenbereicherung der elektrotechnischen Erzeugnisse, die Schaffung von Stoffen erhöhter Eigenschaften und Wirkungsgrade bedang die Verwendung neuer Isolierstoffe, Isolierlacke und Wickelleiter. Die Ergebnisse der von den Fachleuten der Fabrik für Leitungen und Isolierstoffe unternommenen Forschungen und Studien stellen die Erhaltung von über 120 elektroisolierenden Stoffen höherer Isolierklasse E, B, F und H dar. Diese Tatsache ermöglichte der elektrotechnischen Industrie, die Schaffung von Erzeugnissen immer kleinerer Abmessungen, deren Eigenschaften denjenigen der modernen Technik gleichwertig sind. Der Aufsatz zeigt die beim F.C.M.E. auf diesem Gebiet erzielten Verwirklichungen.

DK 621.316.3/9.027.2 : 621.312

Cănescu T. und *State N.* : **Die Niederspannungsapparatur — aktuelle Herstellung und Aussichten.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli-August 1969, S. 296–302

Es werden kurz einige allgemeine Angaben gemacht bzgl. der Produktionszuteilung der Niederspannungsapparatur an die verschiedenen Werke, der technisch-wirtschaftlichen Gesamtkennziffern, Gesichtspunkte bzgl. Entwicklung der Produktionsvermögen, Ausstattung der Werkstätten und der Laboratorien mit modernen technischen Hilfsmitteln sowie die wichtigeren Verwirklichungen auf dem Gebiet der neuen Erzeugnisse, wobei man die neuen Elemente und ihre technischen Hauptmerkmale hervorhebt. Abschliessend erwähnt man einige neue Erzeugnisse, deren Fabrikation für die nächste Zukunft vorgesehen ist.

DK 621.335.2–833.6+621.335·222 : 621.312

Lehrer S. und *Enăchescu A.* : **Verwirklichungen und Aussichten bzgl. der Herstellung von Diesel-elektrischen und von elektrischen Lokomotiven.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli-August 1969, S. 303–309

Es werden die vom „Electroputere"-Werk, Craiova erzielten Verwirklichungen bzgl. der Diesel-elektrischen und der elektrischen Lokomotiven nacheinander besprochen. Dabei behandelt man: die Produktionsdynamik der Lokomotiven

vom Jahr 1960 bis heute, die wichtigeren, von der Organisierung einer Reihenfabrikation gestellten Aufgaben, die technischen Hauptverbesserungen im Lokomotivbau, die wichtigeren technischen Daten und Parameter der erzeugten Diesel-elektrischen und elektrischen Lokomotiven. Gewisse Angaben bzgl. der Kooperationstätigkeit im Lokomotivbau werden erwähnt. Anschliessend zeigt man kurz einige Zukunftspläne im Zusammenhang mit der Typenerweiterung und dem Ausfuhrausteigen der Diesel-elektrischen und der elektrischen Lokomotiven.

DK 621.791.75 : 621.312

Grosu, St., Ionescu, D. und *Popescu, C.*: **Leistungen und Aussichten bzgl. der Quellen für die elektrische Lichtbogenschweissung.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli-August 1969, S. 310–316

Dargestellt werden die Haupterzeugnisse vom Standpunkt der industriellen Wichtigkeit und der Feststellung neuer Lösungen z. B.: Schweisstrafos (TASM-300, TASP-2, TS-1000); Drehumformer (CS-350 und CS-500); Schweissumformer.

Im Zusammenhang mit dem Arbeitsschutz wird eine Sicherheitseinrichtung gegen elektrischen Schlag gezeigt, welche sich besonders für die 300 A-Transformatoren eignet, wo die sekundäre Leerlaufspannung auf einen ungefährlichen Wert herabgesetzt wird.

Der zweite Teil der Arbeit bringt die Verwirklichungen bzgl. der Industrieentwicklung und der wissenschaftlichen Forschung auf dem Gebiet der Schweissquellen.

DK 628.94 :621.326/7 : 621.312

Gligorescu D.: **Die Entwicklung bei der Herstellung von elektrischen Beleuchtungskörpern.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli-August 1969, S. 317–321

Es werden die Hauptgruppen von Beleuchtungskörpern, die im Werk „Electrobanat-Timişoara" erzeugt werden, aufgezählt: Beleuchtungskörper und Signallampen für Fahrzeuge, Autotraktoren, Lokomotiven, Eisenbahnwagen, Schiffe; Beleuchtungskörper für Glühdrahtlampen, Leuchtröhren und solche für Quecksilberdampflampen für die Industrie. Man zeigt den Werdegang jeder Gruppe von Beleuchtungskörpern mit Angabe der erzielten Resultate und der Zukunftsaussichten. Es wird auf die Ermässigung des Selbstkostenpreises eingegangen und die damit erzielten technischen Resultate zwechs Feststellung der Beleuchtungskörper höchster Parameter sowie der Notwendigkeit, die besten Lichtquellen und deren künftige Entwicklung zu kennen. Mit Rücksicht auf das Erreichen einer höheren Qualität und eines möglichst niedrigen Selbstkostenpreises der Beleuchtungskörper, wird auf die Bemühungen eingegangen, das Werkzeugmaterial selbst zu erzeugen und die Produktion sowie die Arbeit wissenschaftlich zu gestalten.

DK 629.113 : 621.3 : 621.312

Trifu, Gh.: **Die Herstellung elektrischer Ausrüstungen für Kraftwagen und Aussichten auf diesem Gebiet.**

Electrotehnica **17**, H. 7–8, Juli-August 1969, S. 322–328

Im ersten Teil wird der Werdegang der Herstellung elektrischer Ausrûstung für Kraftfahrzeuge in unserem Land kurz dargestellt. Angegeben werden Ziffern und graphische Darstellungen bzgl. der Produktionssteigerung von Elektro-Ausrüstungen für Kraftfahrzeuge im Zeitraum 1959—1969—1972 sowie bzgl. Vermehrung der elektrischen Sortimente auf den Rumänischen Kraftwagen und deren Modernisierung.

Im zweiten Teil wird eine Einteilung der elektrischen Ausrüstung der Kraftfahrzeuge in sechs verschiedene Hauptfunktionssysteme vorgenommen und dies nach der Funktion, welche die verschiedenen Maschinen und Apparate im Rahmen dieser Ausrüstung zu erfüllen haben.

Der letzte Teil zeigt die bei uns erzielten Resultate bzgl. Verbesserung der klassischen elektrischen Kraftwagenausrüstungen sowie die Bemühungen für die Zukunft auf diesem Gebiet.

CONTENTS

DC 621.312 (498)

Mihulecea, C. : **Electric Engineering — an outstanding factor of expansion in all branches of the national economy.**

Electrotehnica **17**, nr. 7—8, July-August 1969, p. 245—251

The paper emphasizes the faster rate of growth of electric and electronic engineering as compared with other industrial branches in the Socialist Republic of Romania over the 1950—1970 span, showing how this industrial department is covering the requirements of national economy's expansion, turning raw materials to a better account and enhancing the specific value of complex products.

One stresses that along the 1971—1975 and 1976—1980 periods electric and electronic engineering is bound to expand at the same steady pace by assimilation of new techniques, diversification of production, automation and electronics being introduced in all departments of national economy.

The paper presents the prospects and contribution of scientific research in Romania's economic expansion, laying stress on the superior economic efficiency of electric and electronic engineering.

DC 621.312 (498) ,,1945/1969"

Vlădoianu, R. : **Achievements of the electrical engineering industry.**

Electrotehnica **17**, nr. 7—8, July—August 1969, p. 252—256

The paper emphasizes the development of the electrical engineering industry and also the achievements obtained in the production of the different industrial goods. This development was provided by the directives of the X-Congress of the Roumanian Communist Party in order to satisfay the all — increasing demand in these goods.

DC 621.313.17 : 621.312

Lăzăroiu, D. F. and *Slaiher, S.* : **The actual situation and the prospects in the fabrication of micromotors.**

Electrotehnica **17**, nr. 7—8, July-August 1969, p. 257—268

A classification is given of the micromachines and the main technical and scientific problems associated with the continuous development of this field are mentioned. The micromachines manufactured in the Socialist Republic of Romania and the technical level of production are pointed out.

DC 621.313.333.3 : 621.312

Berberianu, Al. : **The evolution of the unitary series of standard electric asynchronous motors.**

Electrotehnica **17**, nr. 7—8, July-August 1969, p. 268—275

The paper presents the considerations which have led to the serial fabrication of standard asynchronous motors complying with CEI prescriptions, started in 1960, along with the different electrical and constructive variants achieved.

The author sets out the problems — reasons and results — regarding the improvement of the characteristics of the series, introduced in 1969. Reduction of specific consumption being the main aim, the experiments carried on tend to achieve a complete standardization of the motors along international lines.

DC 621.314.2 : 621.312

Liculescu, M., Cîrstea, D., Răducanu, I. and *Marinescu, A.*: **Achievements and prospects in the fabrication of power transformers.**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, July-August 1969, p. 276–287

The paper contains a synthesis of the main achievements and prospects of the power transformer fabrication in the Socialist Republic of Romania.

The items discussed include the evolution of fabrication, present stage of designing and technology, some new solutions envisaged and aspects of the scientific research in the field of power transformers up to powers of 400 MVA and voltages of 400 kV.

Some original works in the field of applied research, construction and technology of transformers are also mentioned.

DC 621.315.2 : 621.312

Arești eanu, H. and *Mihăescu, M.*: **Development of the cable and conductor industry in the Socialist Republic of Romania.**

Electrotehnica, **17**, nr. 7–8, July-August 1969, p. 288–290

The paper describes the development of Romanian cable and conductor industry, supplying information on the rate of growth in various fabrication departments and on the evolution of the required equipment endowment.

To cope with the ever increasing requirements of Romania's expanding power industry it was necessary to diversify and widen the range of types and dimensions of cables and conductors, adopting modern constructive solutions bound to raise the technical level of these products as compared with world technique.

The final part of the paper is devoted to the description of the prospects in this domain.

DC 621.315.6 : 621.6 : 621.312

Macău, I.: **Concerns for the diversification of electroinsulating materials.**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, July-August 1969, p. 291–295

The diversification of the electrotechnical production, the obtention of products with better characteristics and efficiency required the utilization of new types of electroinsulating materials, lacquers and winding conductors. The researches and studies carried out by the specialists from the Cable and Electroinsulating Materials Factory resulted in the production of more than 120 types of electroinsulating materials of a high insulation class: E, B, F and H. This allowed the electrotechnical industry to obtain products of smaller overall size with world-level performances. The results obtained in these fields at the mentioned factory are pointed out.

DC 621.316.3/9.027.2 : 621.312

Cănescu T. and *State, N.*: **The electrical apparatus of low-tension. Actual fabrication and prospects.**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, July-August 1969, p. 296–302

Some general data are given concerning the distribution of the low-tension apparatus production among different works, the overall technical and economic indexes, the development of production capacities, the endowment with up-to-date technical means of the various fabrication sectors and laboratories, some of the outstanding achievements in the field of new products whose innovating elements and main technical characteristics are shown. Some of the products which are to be introduced in the near future into fabrication are also described.

DC 621.335.2–833.6+621.335.222 : 621.312

Lehrer, S. and *Enăchescu, A.*: **Achievements and prospects in the fabrication of diesel-electric locomotives.**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, July-August 1969, p. 303–309

The achievements obtained at the ,,Electroputere'' Works in Craiova as concerns the production of diesel-electric and electric locomotives are reviewed.

The items discussed include : the dynamics of locomotive production from 1960 to date ; the main organizational problems associated with serial fabrication ; the most important technical improvements in the fabrication and construction of locomotives ; the principal technical data and parameters of diesel-electric and electric locomotives.

Some information is given regarding the co-operation in the fabrication of locomotives. Some of the long-term concerns relating to a more diversified fabrication and extended exports of diesel-electric and electric locomotives are briefly pointed out.

DC 621.791.75 : 621.312

Grosu, St., Ionescu, D. and *Popescu, G.* : **Achievements and prospects in the technics of sources for the electric-arc welding.**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, July-August 1969, p. 310–316

Some representative products in respect of industrial importance and application of new solutions, such as the welding transformers (TASM-300, TSAP-2, TS-1000), the rotary converters (CS-350 and CS-500) and the welding rectifiers are presented.

In the field of labour safety, one describes an electrosafety device mainly adaptable to 300-A transformers which reduces the idle running to a non-dangerous value.

The second part of the paper contains the advances obtained in the field of welding sources as related to the development of industry and scientific research.

DC 628.94 : 621.326/7 : 621.312

Gligorescu, D. : **Evolution in prospects in the fabrication of lighting bodies.**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, July-August 1969, p. 317–321

The main types of lighting bodies produced at the ,,Electrobanat'' Enterprise in Timişoara are mentioned. They include lighting and optical signalling bodies for motor cars, autotractors, locomotives, railway carriages, ships ; incandescent, fluorescent and mercury-vapour industrial lighting bodies.

After presenting the evolution of the different groups of lighting bodies the author mentions the performances obtained and outlines the prospects of each group. The importance of reducing the cost price and improving the technical performances of lighting bodies are emphasized as well as the necessity of adequately knowing the light sources and their predictable evolution in the future.

In order to ensure high quality at the lowest possible cost price of lighting bodies, some efforts are made for improving the scientific organization of production and labour.

DC 629.113 : 621.3 : 621.312

Trifu, Gh. : **The fabrication of electric equipment for motor vehicles and the prospects in this domain.**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8. July-August 1969, p. 322–328

The first part of the paper presents a brief history of the production of electric equipment for motor vehicles in this country. Some figures and diagrams are given to illustrate the increased volume of electric equipment for motor vehicles produced during the 1959—1969—1972 period. The range of electric equipment on Romanian vehicles is shown to widen with the modernization of the latter. The second part contains a classification into six basic fonctional systems of the motor-vehicle electric equipment according to the function performed by the different machines and apparatus.

Finally, some informations are given concerning the results obtained in this country in respect of improving the classical electric equipment systems. The present-day concerns in this field are also pointed out.

SOMMAIRE

CD 621.312 (498)

Mihulecea, C. : **L'industrie électrotechnique — facteur d'une importance spéciale pour le développement de toutes les branches de l'économie nationale.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet – août 1969, p. 245–251

On présente les rythmes de développement plus rapides, en comparaison avec d'autres branches industrielles, de l'industrie électrotechnique et électronique de la République Socialiste de Roumanie, pendant la période 1950—1970 et la manière dont cette sous-branche a contribué à satisfaire les nécessités du développement de l'économie nationale, à la mise en valeur des matières premières et à l'accroissement de la valeur spécifique des produits complexes.

On montre qu'au cours de la période 1971—1975 et 1976—1980 l'industrie électrotechnique et électronique devra continuer à se développer en un rythme soutenu, par l'assimilation de nouvelles techniques et par la diversification de la production, en vue de l'application de plus en plus large de l'automation et de l'électronique dans toutes les branches de l'économie nationale.

On souligne les perspectives de la recherche scientifique et l'apport qu'elle doit fournir dans le contexte du développement prévu, ainsi que l'efficacité économique supérieure de l'industrie électrotechnique et électronique.

CD 621.312 (498) „1945/1969"

Vlădoianu, R. : **Réalisations dans l'industrie électrotechnique.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet-août 1969, p. 252–256

On présente le développement de l'industrie électrotechnique et notamment les principales réalisations enregistrées ces dernières années dans la gamme des produits.

Ce développement a lieu conformément aux Directives du X-ème Congrès du Parti Communiste Roumain et vise à satisfaire les demandes toujours croissantes de produits électrotechniques dont le niveau technique et qualitatif soit élevé.

CD 621.313.17 : 621.312

Lăzăroiu, D. F. et *Slaiher, S.* : **Etat actuel et perspectives dans la fabrication des micromoteurs.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet-août 1969, p. 257–268

Dans cet ouvrage on présente la classification des micromachines et les principaux problèmes techniques et scientifiques dont on doit tenir compte actuellement en vue du développement continu de ce domaine. On présente les micromoteurs fabriqués dans la République Socialiste de Roumanie ainsi que le niveau technique de la production.

CD 621.313.333.3 : 621.312

Berberianu, Al. : **L'évolution de la série unitaire de moteurs asynchrones normaux.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet-août 1969, p. 269–275

On présente les prémisses qui ont mené, pendant l'année 1960, à la fabrication de la série unitaire de moteurs asynchrones normaux, selon les prescriptions CEI, ainsi que les performances de cette série et les variantes électriques et constructives réalisées.

On montre ensuite les causes et les effets de la révision de la série, en 1969, en précisant les directives qui par la suite méneront à l'amélioration de la série dans le sens de la réduction des consommations spécifiques et les tendances des expériences qui seront effectuées en vue de la standardisation complète sur le plan international.

CD 621.314.2 : 621.312

Liculescu, M., Ctrstea, D., Răducanu, I. et *Marinescu, A.* : **Réalisations et perspectives dans la fabrication des transformateurs de puissance.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet-août 1969, p. 276–287

On présente un matériel de synthèse concernant les principales réalisations et les perspectives de la fabrication des transformateurs de puissance dans la République Socialiste de Roumanie. Ainsi, on présente l'évolution de la fabrication, le stade actuel de l'élaboration des projets et de la technolo-

gie, les préoccupations pour trouver de nouvelles solutions, et quelques aspects de la recherche scientifique dans le domaine des transformateurs ayant des puissances jusqu'à 400 MVA et la tension de 400 kV.

Dans l'ouvrage on traite sommairement et l'on cite les travaux originaux du domaine de la construction, de la technologie et de la recherche applicative des transformateurs.

CD 621.315.2 : 621.312

Arești eanu, H. et *Mihăescu, M.* : **Le développement de l'industrie des câbles et de conducteurs dans la République Socialiste de Roumanie.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet-août 1969, p. 288–290

Dans l'article on passe en revue le développement de l'industrie roumaine de câbles et de conducteurs et l'on donne des informations concernant le rythme de développement des différents compartiments de fabrication ainsi que l'évolution du degré de dotage avec les équipements nécessaires à cette fabrication.

On spécifie de quelle manière on a procédé — en tenant compte des demandes de plus en plus nombreuses concernant le potentiel énergétique de notre pays — à une diversification importante des types et des dimensions pour les câbles et pour les conducteurs, en adoptant des solutions constructives modernes en vue de pouvoir comparer le niveau technique de ces produits au niveau technique mondial. On indique aussi quelques-uns des moyens du progrès technique utilisés pour élever cette production au niveau de la technique actuelle.

Dans la partie finale de l'article on fait une description en perspective des développements de ce domaine.

CD 621.315.6 : 621.312

Macău, I. : **Préoccupations en ce qui concerne la diversification des matériaux électroisolants.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet-août 1969, p. 291–295

La diversification de la production électrotechnique, l'obtention de produits à caractéristiques et à rendements accrus, a nécessité l'utilisation de certains nouveaux types de matériaux électroisolants, vernis et conducteurs de bobinage. Les résultats des recherches et des études entreprises par les spécialistes de la Fabrique de Câbles et de Matériaux Electroisolants sont concrétisés dans l'obtention de plus de 120 types de matériaux électroisolants de classe supérieure d'isolation E, B, F et H, ce qui a permis à l'industrie électrotechnique d'obtenir des produits à gabarits de plus en plus réduits, ayant des performances au niveau de la technique actuelle. Dans cet ouvrage on présente les réalisations obtenues à la fabrique mentionnée, dans tous ces domaines.

CD 621.316.3/9.027.2 : 621.312

Cănescu, T. et *State, N.* : **L'appareillage électrique de basse tension — fabrication actuelle et perspectives.**

Electrotehnica **17**, nr. 7–8, juillet-août 1969, p. 296–302

On présente sommairement certaines données générales concernant la répartition d'appareils de basse tension par usines, indicateurs techniques et économiques globaux, des aspects se rapportant au développement des capacités de production, à l'équipement en moyens techniques modernes des secteurs de fabrication et des laboratoires, ainsi que les réalisations plus importantes dans le domaine des nouveaux produits, tout en mentionnant les éléments qui constituent une nouveauté et les principales caractéristiques techniques. A la fin de l'article on présente quelques nouveaux produits qui seront mis en fabrication dans un avenir proche.

CD 621.335.2–833.6+621.335.222 : 621.312

Lehrer, S. et *Enăchescu, A.* : **Réalisations et perspectives dans la fabrication des locomotives diesel-électriques et électriques.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet-août 1969, p. 303–309

On passe en revue les réalisations obtenues aux Usines „Electroputere" Craiova, en ce qui concerne les locomotives diesel-électriques et électriques. On présente : la dynamique

de la production de locomotives à partir de 1960 et jusqu'à présent ; les plus importants problèmes posés par l'organisation d'une fabrication en série ; les améliorations techniques les plus importantes appliquées dans la fabrication et dans la construction des locomotives ; les données techniques et les paramètres les plus importants des locomotives diesel-électriques et électriques fabriquées. On donne certaines informations concernant l'activité de coopération dans la fabrication des locomotives. On présente ensuite, sommairement, quelques-unes des préoccupations de perspective concernant la diversification de la fabrication et l'extension de l'export de locomotives diesel-électriques et électriques.

CD 621.791.75 : 621.312

Grosu, St., Ionescu, D. et *Popescu, C.* : **La technique des sources pour la soudure électrique à arc.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet-août 1969, p. 310–316

On présente les produits représentatifs sous l'aspect de leur importance industrielle et de la concrétisation de quelques nouvelles solutions et notamment : les transformateurs de soudure (TASM-300, TSAP-2, TS-1000) ; les convertisseurs rotatifs (CS-350 et CS-500) ; les redresseurs pour soudure.

Par rapport à la sécurité du travail, on présente un dispositif d'électrosécurité adaptable spécialement aux transformateurs de 300 A, et qui réduit la tension lors de la marche à vide du secondaire, à une valeur qui n'est pas dangereuse.

Dans la seconde partie de l'ouvrage on présente les réalisations concernant le développement de l'industrie et de la recherche scientifique pour les sources de soudure.

CD 628.94 : 621.326/7 : 621.312

Gligorescu, D. : **L'évolution de la fabrication des appareils d'éclairage électrique.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet-août 1969, p. 317–321

On précise les principaux groupes d'appareils d'éclairage qui sont exécutés par l'entreprise „Electrobanat" Timişoara : corps éclairants et signaliseurs optiques pour autovéhicules, autotracteurs, locomotives, wagons, bateaux ; corps éclairants industriels incandescents, fluorescents et à vapeurs de mercure.

On présente l'évolution de chaque groupe de corps éclairants en précisant les performances obtenues ainsi que les perspectives d'avenir. On montre l'importance de la réduction du prix de revient et les résultats obtenus ainsi que les performances techniques réalisées, pour l'assimilation des corps éclairants à paramètres supérieurs, la nécessité de connaître les sources de lumière ainsi que leur évolution à l'avenir.

En vue d'assurer une qualité supérieure et un prix de revient aussi réduit que possible des corps éclairants, on indique les préoccupations existant dans le domaine de l'autodotage de l'atelier d'outillages et de l'organisation scientifique de la production et du travail.

CD 629.113 : 621.3 : 621.312

Trifu, Gh. : **La fabrication de l'équipement électrique pour autovéhicules et les perspectives do ce secteur.**

Electrotehnica **17**, no. 7–8, juillet-août 1969, p. 322–328

Dans la première partie de l'article on fait un court historique de la production d'équipement électrique pour autovéhicules dans notre pays. On présente aussi des chiffres et des diagrammes concernant l'accroissement du volume de la production d'équipement électrique auto au cours de la période 1959—1969—1972 et l'accroissement du nombre d'assortiments électriques pour les autovéhicules roumains par rapport à la modernisation de ces derniers. Dans la seconde partie de l'article on fait une classification de l'équipement électrique auto , selon la fonction qu'accomplissent les différentes machines et les appareils faisant partie du cadre de cet équipement, en six systèmes fonctionnaux fondamentaux.

Dans la dernière partie on présente les résultats obtenus dans notre pays en ce qui concerne l'amélioration des systèmes classiques d'équipement électrique auto ainsi que les préoccupations et les résultats obtenus dans ce domaine.

Abonați-vă la revistele:
CONSTRUCȚIA DE MAȘINI
ELECTROTEHNICA
AUTOMATICA ȘI ELECTRONICĂ

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 nr. 7—8 București, iulie—august, 1969

MŰSZAKI KÖNYVTÁR

Industria electrotehnică — factor de importanță deosebită în dezvoltarea tuturor ramurilor economiei naționale

C. MIHULECEA

Adjunct al ministrului Industriei Construcțiilor de Mașini

CZ 621.312 : 33(498)

Creșterea și diversificarea în ritm susținut a industriei electrotehnice și electronice este o necesitate a evoluției industriei contemporane, întrucît ea determină progresul tehnic și automatizarea proceselor în toate domeniile de activitate.

Dezvoltarea industrială mondială confirmă faptul că ritmul de creștere în industria electrotehnică și electronică trebuie să fie mai mare decît al celorlalte ramuri. Producția industriei electrotehnice și electronice capătă o pondere din ce în ce mai importantă în producția industrială a țărilor dezvoltate și, în ultimă instanță, valoarea acestei ponderi poate constitui un indicator de dezvoltare a țării respective.

În proiectul de Directive al Congresului al X-lea al Partidului Comunist Român privind planul cincinal pe anii 1971—1975 și liniile directoare ale dezvoltării economiei naționale pe perioada 1976—1980 se menționează că un obiectiv major trebuie să-l constituie dezvoltarea susținută a unor subramuri moderne ale industriei construcțiilor de mașini, printre care, la loc de cinste, se află industria electrotehnică și electronică. Aceasta va fi consecvent orientată spre o producție de înaltă tehnicitate, în vederea echipării cu tehnică modernă a economiei, valorificării superioare a metalului, fructificării concepției tehnice proprii, creșterii contribuției acestei ramuri la extinderea schimburilor economice externe.

Promovarea progresului tehnic în economia națională, prin ridicarea nivelului tehnic al produselor și asimilarea de produse noi, în pas cu exigențele crescînde ale pieții interne și externe și cu cerințele revoluției tehnice actuale, extinderea proceselor tehnologice avansate, creșterea gradului de mecanizare și automatizare a producției și introducerea tehnicii electronice de calcul în producție și gestiune, reprezintă principala cale de dezvoltare în perioada actuală.

Ritmurile de dezvoltare ale industriei electrotehnice și electronice, superioare celorlalte ramuri, prevăzute pentru 1971—1975, reprezintă una din căile de promovare a progresului tehnic și este în concordanță cu tendințele și situația pe plan mondial.

* * *

Politica de industrializare socialistă, grija partidului și guvernului pentru dezvoltarea acestei ramuri industriale, activitatea susținută a muncitorilor, tehnicienilor și inginerilor, au condus la realizări însemnate. Astfel, în timp ce în 1948 aproape întregul necesar de produse electrotehnice se importa, în prezent, cu toată dezvoltarea deosebit de dinamică a tuturor ramurilor economiei naționale, cea mai mare parte a necesarului de produse electrotehnice pentru nevoile interne se realizează în țară, asigurîndu-se totodată și un volum important pentru export. A crescut continuu numărul de uzine și întreprinderi electrotehnice, s-au dezvoltat cele existente, profilîndu-se și specializîndu-se pe sortimente cu construcție și tehnologie similară.

În ansamblul ei, industria electrotehnică din țara noastră se caracterizează prin ritmuri anuale

de creştere mai înalte în raport cu alte ramuri industriale. Astfel, comparînd ritmurile medii anuale de dezvoltare pentru construcţia de maşini, chimie, energie electrică şi termică cu cele ale industriei electrotehnice pe perioada 1951—1965, se constată că ele au fost între 16 şi 22% pentru celelalte ramuri comparate şi peste 25% pentru industria electrotehnică şi electronică. Această dinamică este justificată de necesitatea obiectivă de a se dezvolta industria electrotehnică înaintea altor ramuri industriale, ca o consecinţă firească a pătrunderii tot mai largi a electrificării şi automatizării în toate ramurile economiei naţionale.

Încă în anul 1965, producţia realizată de industria electrotehnică a depăşit sarcinile trasate, fiind de 3,2 ori mai mare decît în 1959. Corespunzător cerinţelor planului de electrificare, s-au extins în principal fabricaţia de transformatoare de putere, aparataj de înaltă tensiune şi de joasă tensiune, motoare electrice, conductoare şi cabluri electrice etc. Astfel, în 1965, producţia de transformatoare a fost de 20 de ori mai mare decît în 1950, cea de motoare electrice 13,3 ori şi producţia de cabluri şi conductoare electrice de 10,3 ori.

În funcţie de creşterea puterilor şi tensiunilor, au fost asimilate în perioada 1965—1967 transformatoare de mare putere şi înaltă tensiune (pînă la 200 MVA şi 220 kV) al căror nivel tehnic în continuă creştere a condus atît la economii importante de energie în exploatare cît şi la economii substanţiale de cupru şi tablă silicioasă. Tot pentru dezvoltarea sortimentului electroenergetic, a crescut an de an fabricaţia de aparataj de înaltă tensiune într-un sortiment larg, cuprinzînd întreruptoare cu ulei puţin, separatoare de sarcină, transformatoare de măsură etc.

Eforturile făcute în vederea realizării în ţară a echipamentului necesar pentru dezvoltarea sectorului electroenergetic pot fi ilustrate prin următoarele etape parcurse: pînă în 1955 se fabricau în ţară numai echipamente (transformatoare şi aparataj) pînă la tensiunea nominală de 35 kV inclusiv; în 1960 se produceau echipamente de 110 kV; în 1965—1967, echipamente de 220 kV, iar pînă în 1970 sortimentul va include şi echipament de 400 kV.

Industria electrotehnică a participat şi participă activ la asigurarea celorlalte ramuri industriale cu produse şi echipamente. Citäm în acest sens, participarea la lucrările complexe de fabrici de ciment, utilaje chimice şi rafinării, furnale, fabrici din industria alimentară şi uşoară etc.

Pentru industria de autocamioane şi tractoare se execută întregul sortiment de echipament electric, compus din peste 100 de produse.

În domeniul transportului feroviar, industria electrotehnică participă prin livrări de locomotive Diesel electrice şi electrice, astfel încît în prezent peste 60% din totalul traficului de persoane şi mărfuri este asigurat cu locomotive Diesel electrice şi electrice fabricate în ţară.

În domeniul telecomunicaţiilor, se pot sublinia livrări de centrale telefonice automate, echipamente de semnalizări electrodinamice etc.

O serie de produse ca de exemplu aparatele de măsură, panourile de automatizare şi alte numeroase produse sînt destinate tuturor ramurilor economiei naţionale.

Progresul tehnic în toate domeniile este de neconceput fără utilizarea largă a electricităţii, fără creşterea gradului de automatizare a producţiei. Aceasta presupune folosirea în proporţii din ce în ce mai mari a produselor electrotehnice şi electronice, de la motoare electrice de acţionare pînă la calculatoare electronice. Introducerea largă a electrificării şi automatizarea proceselor de producţie constituie una din căile principale de creştere a productivităţii muncii şi a reducerii preţului de cost.

În cuvîntarea rostită de tovarăşul Nicolae Ceauşescu la plenara C.C. al P.C.R. din 21—23 decembrie 1966, se scoate în evidenţă eficienţa deosebită a industriei electrotehnice în ceea ce priveşte valorificarea superioară a materialelor şi în primul rînd a metalului. Prin însăşi natura şi tehnicitatea lor ridicată, produsele electrotehnice şi electronice reprezintă produse în care materialele au un grad deosebit de înalt de valorificare. Înglobate în produsele complexe ale industriei constructoare de maşini, produsele electrotehnice contribuie la înnobilarea acestora.

Gradul de înnobilare a unui produs complex poate fi exprimat prin valoarea lui specifică, de exemplu în mii lei preţ de vînzare pe tona de produs. Spre exemplu, la vagoanele de călători de tipul construit anterior, ponderea echipamentului electric era de 1,8% şi valoarea lui specifică redusă. Vagonul de călători modernizat, dotat cu instalaţie de iluminat fluorescent şi încălzire electrică are o pondere valorică a echipamentului electric de 20%, valoarea specifică crescînd de peste două ori. De asemenea, la motorul Diesel de 65 CP, această valoare creşte cu peste 21%, ca urmare a înglobării lui în grupul de sudură electrică de 350 A.

În legătură cu specificul industriei electrotehnice de folosire superioară a materialelor, vom cita numai cîteva exemple: un kilogram de conductor de cupru emailat pentru bobinaje are preţul mediu de vînzare dublu faţă de preţul cuprului brut. Conductorul de aluminiu izolat cu PVC are un preţ de vînzare de aproape trei ori mai mare decît valoarea materialelor folosite.

Congresul al IX-lea al P.C.R. a scos în evidenţă că deşi ritmul mediu anual de creştere al industriei electrotehnice a fost ridicat, el s-a dovedit insuficient faţă de sporul rapid al cererilor. Aceasta provine din pătrunderea din ce în ce mai largă a electrificării în toate ramurile economiei naţionale, a perfecţionării şi creşterii

nivelului de dotare a maşinilor, utilajelor şi instalaţiilor cu produse electrotehnice, precum şi introducerea tot mai largă a automatizărilor.

În lumina Directivelor Congresului al IX-lea al P.C.R. au fost analizate multilateral cauzele care au determinat neacoperirea cu produse electrotehnice a necesităţilor economiei naţionale şi, prin planul de stat de dezvoltare a economiei naţionale pe perioada 1966—1970, s-au precizat sarcinile de dezvoltare în continuare a industriei electrotehnice, precum şi investiţiile necesare acestei dezvoltări. Astfel, s-a prevăzut ca producţia globală a uzinelor şi întreprinderilor din industria electrotehnică să crească în perioada 1966—1970 cu un ritm mediu anual de 20,3% faţă de 16% cît a fost prevăzut în Directive. În cadrul industriei electrotehnice, s-a acordat o atenţie sporită producţiei electronice, de telecomunicaţii şi din domeniul tehnicii vidului care va creşte de 2,78 ori în cursul cincinalului actual, cu un ritm mediu anual de 23,7%.

Volumul şi sortimentele au în vedere să acopere cererile de produse electrotehnice ale economiei naţionale, astfel ca, la sfîrşitul cincinalului, importul de astfel de produse să fie redus la minimum, rămînînd a se importa în general produse a căror fabricaţie în ţară este neeconomică.

În perioada 1966—1969 a crescut numărul întreprinderilor electrotehnice, s-au dezvoltat capacităţile de producţie ale întreprinderilor existente. În vederea creşterii capacităţilor de producţie de maşini electrice rotative s-a dezvoltat Fabrica de maşini electrice din cadrul uzinei „Electroputere"-Craiova şi Uzina de maşini electrice-Bucureşti. Noua Fabrică de maşini electrice de la Piteşti concentrează întreaga producţie de motoare cu puteri fracţionare şi a trecut la producţia de motoare asincrone pînă la 7,5 kW în carcasă de aluminiu. Necesarul intern de motoare electrice va fi acoperit, rămînînd şi un disponibil pentru export.

Pentru satisfacerea cererilor de transformatoare se dezvoltă noi capacităţi, atît pentru transformatoare de mare putere şi înaltă tensiune — inclusiv 400 kV cît şi pentru transformatoare de distribuţie.

În domeniul aparatajului de înaltă tensiune capacitatea de producţie va creşte, în 1970, de cinci ori faţă de 1965, incluzînd şi aparatajul de 400 kV.

Producţia de aparataj de joasă tensiune creşte de peste patru ori.

Prin dezvoltări de capacităţi creşte corespunzător producţia de echipamente elcctrice pentru autovehicule, centrale telefonice automate, aparate telefonice, echipamente de curenţi purtători, piese de radio şi dispozitive semiconductoare ; se dezvoltă capacităţi noi de producţie pentru mijloace moderne de calcul; maşini electromecanice şi electronice de calcul.

Producţia de televizoare va fi, în 1970, de trei ori, iar de radioreceptoare cu circa 40% mai mare decît în 1965.

Pentru satisfacerea necesităţilor în continuă creştere de aparatură electronică industrială, va intra în funcţiune o nouă fabrică specializată în acest domeniu. Creşteri importante de producţie se vor obţine şi în ceea ce priveşte sursele de lumină : lămpi cu incandescenţă, fluorescente şi cu vapori de mercur.

Intrarea în funcţiune a Fabricii de elemente de automatizare şi creşterea producţiei în această unitate, va permite ca în 1970 circa 80% din aparatura de automatizare necesară instalaţiilor de automatizare să fie realizată în ţară. Producţia de panouri pentru acţionări şi automatizări va creşte de circa patru ori.

Producţia şi nivelul tehnic al maşinilor şi aparatelor electrice este în mare măsură condiţionată de producţia de materiale electroizolante. Ţinîndu-se seamă de acest lucru, se dezvoltă producţia de astfel de materiale, asigurîndu-se cantităţile necesare într-un sortiment cu caracteristici tehnice ridicate. Producţia de izolatoare şi piese ceramice va fi în 1970 de circa 3,3 ori mai mare decît în 1965, iar producţia de acumulatoare cu plumb va creşte de peste trei ori. Se organizează fabricaţia de ferite necesare producţiei electronice de consum, elementelor de automatizare, aparaturii de telecomunicaţii şi utilajelor moderne de calcul.

În cadrul unei producţii sporite de bunuri de consum electrotehnice, trebuie menţionată organizarea unei fabricaţii de frigidere cu compresor care va intra în funcţiune în anul 1970.

În vederea ridicării nivelului tehnic şi al diversificării producţiei au fost asimilate şi modernizate 1 140 produse în anii 1966—1968 şi urmează a fi asimilate şi modernizate în anii 1969 şi 1970 încă circa 960 produse.

Dintre produsele asimilate se pot remarca întreruptoarele de 110 şi 220 kV cu puteri de rupere de 6 000 MVA şi respectiv 12 000 MVA, precum şi seria de siguranţe fuzibile de înaltă tensiune cu o putere de rupere de 400 MVA, majoritatea tipodimensiunilor din noua serie de contactoare de joasă tensiune, microîntreruptoare, tipuri noi de întreruptoare de instalaţii transformatorul bloc de 40/20/20 MVA şi autotransformatorul de 100 MVA — 220 kV, motoarele asincrone în execuţie antideflagrantă de tipul Ex a II G4 şi antigrizutoase, elemente de automatizare electronice, semibariere automate pentru căi ferate, centrala telefonică automată urbană tip Crossbar, piese, componente şi subansamble radio ca de exemplu : serii noi de potenţiometre, de difuzoare, de condensatoare variabile, rotactoare etc.

În domeniul materialelor elcctrotehnice citäm asimilarea condensatoarelor de forţă impregnate cu materiale clorurate, cabluri telefonice urbane şi interurbane, iar în domeniul mijloacelor de

transport fabricarea locomotivelor electrice de 5 100 kW.

* * *

Documentele pregătiroare ale Congresului al X-lea al P.C.R. prevăd o dezvoltare ascendentă pentru industria electrotehnică şi în perioadele următoare 1971—1975 şi 1976—1980.

Pe linia dezvoltării în ritm susţinut a producţiei industriei electrotehnice şi electronice, a asigurării unei ponderi mai mari în totalul producţiei industriale şi în cadrul industriei construcţiilor de maşini, ţinînd seamă de tendinţele de dezvoltare tehnică pe plan mondial, de progresul tehnic rapid al acestei subramuri, de necesitatea acoperirii nevoilor economiei naţionale şi a afirmării la export cu produse de nivel tehnic ridicat, volumul producţiei globale a întreprinderilor departamentului industriei electrotehnice din Ministerul Industriei Construcţiilor de Maşini se prevede să crească în perioada 1971—1975 cu un ritm mediu anual de peste 18,1% faţă de 15—17% cît prevăd Directivele pentru ansamblul industriei electrotehnice.

Volumul producţiei din domeniul electronicii, automatizărilor, al curenţilor slabi şi al surselor electrice de lumină prezintă ritmuri mai mari, pe ansamblu de peste 21,5%, ceea ce indică efortul de a recupera rămînerile în urmă în acest domeniu. Se urmăreşte astfel ca ponderea produselor de electronică şi de curenţi slabi să atingă circa 50% din totalul producţiei electrotehnice, marcînd astfel şi pătrunderea tot mai accentuată a electronicii şi automatizărilor în tehnica curenţilor tari.

Pentru satisfacerea în măsură din ce în ce mai mare a necesităţilor de consum ale populaţiei, se prevăd creşteri importante pentru volumul de produse destinate acestui consum. Creşterea se va face concomitent cu asimilarea unor sortimente şi cu diversificarea lor şi este de peste două ori în 1975 faţă de 1970.

În vederea acoperirii în măsură maximă a necesarului intern şi a eliminării importului la produsele a căror producţie în ţară este justificată economic, se vor înlocui produsele depăşite şi se va lărgi sortimentul. Acţiunea cuprinde un număr mare de tipodimensiuni, din care 356 grupe de sortimente în perioada 1971—1975.

Pentru ilustrarea efortului de asimilări de noi produse şi de modernizarea produselor existente, vom menţiona cîteva produse sau grupe de produse ce urmează a fi fabricate în perioada 1971—1975.

Se prevede astfel, diversificarea producţiei de locomotive diesel-electrice şi electrice. Se vor asimila noi tipuri de transformatoare de putere, inclusiv transformatoare bloc pentru centrale electrice mari şi tipuri constructive noi de transformatoare uscate, în răşini de turnare. Se va completa sortimentul de celule de înaltă tensiune şi se vor fabrica posturi de transformare prefabricate. Se va diversifica sortimentul de aparataj de înaltă tensiune, inclusiv realizarea de contactoare de înaltă tensiune. Sînt prevăzute noi tipuri de elemente de automatizare, prin modernizarea şi extinderea sortimentului actual. Utilajele moderne de calcul, inclusiv calculatoarele electronice, vor constitui o preocupare de prim ordin. Vor fi fabricate tipuri noi de aparate electronice de măsură şi control pentru mărimi electrice şi neelectrice, vor fi asimilate componente electronice pentru aplicaţii profesionale, aparatură electronică pentru medicină şi biologie etc.

În perioada 1971—1975 industria electrotehnică va continua să se dezvolte într-un ritm mediu anual superior ramurii industriei constructoare de maşini şi ramurilor cu care este legată în mod nemijlocit. Această dinamică ascendentă a industriei electrotehnice în ţara noastră va conduce la situaţia ca, în etapele 1975 şi respectiv 1980, ponderea pe care o va avea această industrie în totalul producţiei industriale să fie comparabilă cu aceea realizată în ţările cu industrie dezvoltată.

Dezvoltarea rapidă a producţiei electrotehnice şi rezultatele obţinute pe linia progresului tehnic au făcut posibilă livrarea produselor electrotehnice la export, obţinînd bune aprecieri din partea beneficiarilor externi.

Creşterea continuă a exportului de produse electrotehnice poate fi ilustrată arătînd că, faţă de livrările externe realizate în 1965, este planificat pentru anul 1970 un export de peste 2,4 ori mai mare, iar în 1975, volumul exporturilor electrotehnice va fi de circa trei ori mai mare decît în anul 1970.

Este de remarcat că, în perioada 1970—1975, produsele din domeniul electronicii şi al automatizărilor vor participa la exportul industriei electrotehnice într-o proporţie din ce în ce mai mare.

O dată cu dezvoltarea bazei tehnico-materiale pentru producţie, s-a acordat şi se acordă atenţie dezvoltării activităţii de cercetare ştiinţifică.

Pînă în anul 1960, munca de cercetare ştiinţifică în domeniul electrotehnic a fost concentrată, pe plan departamental, în special la Institutul de cercetări electrotehnice. În vederea introducerii mai intense a automatizării principalelor ramuri industriale, în anul 1960 a fost înfiinţat Institutul de proiectare de aparataj electrotehnic şi instalaţii de automatizare — I.P.A. — cu profil de cercetare şi proiectare în domeniul elementelor şi instalaţiilor de automatizare.

Se va acorda o deosebită importanță problemelor de cercetare și proiectare în domeniul dispozitivelor semiconductoare și a componentelor electronice, precum și de baza tehnico-materială existentă și în dezvoltare la Intreprinderea de piese radio și semiconductoare — Băneasa.

De asemenea, avînd în vedere dotarea existentă și investițiile în curs la uzina „Electroputere"-Craiova pentru laboratoarele de mare putere și de înaltă tensiune se va pune un accent deosebit pe activitatea de cercetare și proiectare.

Rezultatele activității de cercetare științifică au contribuit la progresul tehnic al producției electrotehnice, prin elaborarea de noi produse și materiale, studierea de noi procedee tehnologice și elaborarea de metode și aparatură de încercări. Putem menționa realizările în domeniul transformatoarelor de putere rezistente la impulsuri și la scurtcircuit, al separatoarelor de sarcină și siguranțelor de înaltă tensiune și mare putere de rupere, obținute de ICPE printr-o strînsă colaborare cu uzina „Electroputere". Tot din lucrările acestui institut, vom remarca realizările în domeniul condensatoarelor de putere — în colaborare cu F.C.M.E., în probleme tehnologice specifice ceramicei electrothenice, în colaborare cu întreprinderea „Electroceramica"-Turda, pentru seria de amplificatoare magnetice în instalații moderne de acționare electrică — în colaborare cu întreprinderea „Electrotehnica"-București și altele.

Meritorii sînt realizările Institutului de cercetări electronice, în scurta perioadă de existență, în ceea ce privește realizarea de prototipuri industriale în domeniul aparaturii electronice de măsură și control și industrial.

Lucrările Institutului de proiectări și automatizări în colaborare cu uzina „Electromagnetica" au dus la realizarea sistemelor de comutație statică și la unele instalații de telemecanică. Este de remarcat, de asemenea, contribuția Institutului la dezvoltarea automatizărilor prin proiectele elaborate în acest domeniu.

Pentru ridicarea continuă a nivelului tehnic al produselor și al producției prin asimilări de noi produse, modernizarea produselor existente, modernizarea proceselor tehnologice și introducerea de metode tehnologice, se preconizează o amplă dezvoltare a activității de cercetare și proiectare în institutele departamentale, centrele de cercetare și laboratoarele uzinale.

În afară de dezvoltarea unităților de cercetare existente, se prevede să fie organizate treptat noi institute și centre de cercetare și proiectare uzinale pentru: tehnica vidului, radio și televiziune, echipament electric pentru autovehicule, acumulatoare electrice și altele.

Pentru 1975, se prevede a fi în funcțiune 17 institute și centre uzinale în domeniul electrotehnicii, electronicii și automatizărilor, față de șapte în 1970. Totodată, sînt în curs și vor continua lucrările pentru organizarea de laboratoare specializate care, în cadrul întreprinderilor și uzinelor, vor concentra munca de cercetare și proiectare în anumite domenii legate strîns de profilul de producție respectiv ca de exemplu ceramica electrotehnică, aparate de măsură electrice, aparataj de joasă tensiune și altele.

Dezvoltarea rapidă a industriei electrotehnice este condiționată și de creșterea numărului de cadre calificate și în special de asigurarea întreprinderilor, uzinelor și unităților de cercetare și proiectare cu cadre cu pregătire superioară și de specialitate.

În anul 1965, numărul de salariați în industria electrotehnică a crescut cu circa 80% față de 1960, la o creștere a producției de peste trei ori. Este prevăzut ca, în 1970, acest număr să crească cu circa 50% față de 1965, la o creștere a producției de peste 2,6 ori, ceea ce confirmă că productivitatea muncii ridicată este o altă caracteristică importantă a industriei electrotehnice și electronice din țara noastră.

Creșterea potențialului de cadre de înaltă calificare necesare industriei electrotehnice și electronice constituie o preocupare importantă și pentru cincinalul 1971—1975, corelată cu creșterea productivității muncii.

Este de remarcat creșterea numărului de salariați în unitățile de concepție din uzine, în cele de cercetare și proiectare din domeniul electrotehnic, electronic și de automatizări. Totalul salariaților din aceste unități crește față de 1965, în 1970, de circa trei ori, iar în 1975, urmează să fie de circa două ori mai mare față de 1970. Creșterea personalului în unitățile de cercetare și proiectare reflectă importanța sporită ce se acordă activității lor, considerînd că experiența acumulată pînă în prezent, adîncirea specializării cadrelor existente și formarea de noi cadre de nivel superior și mediu vor face ca progresul tehnic al industriei electrotehnice, electronice și de automatizări să se bazeze, în marea majoritate, pe concepție proprie românească. În aceeași ordine de idei, remarcăm că rezultatele obținute pe linia dezvoltării tehnice a industriei electrotehnice au făcut posibil să fim în măsură în viitor să oferim licențe de fabricație. Totodată, ținînd seamă de cunoștințele acumulate în domeniul tehnologic, precum și de posibilitățile de execuție în țară a unui sortiment larg de utilaje, mașini și instalații, nomenclatorul de export al industriei electrotehnice se va lărgi nu numai cu produse, ci și cu proiecte tehnologice pentru linii de fabricație, inclusiv utilajele și mașinile necesare.

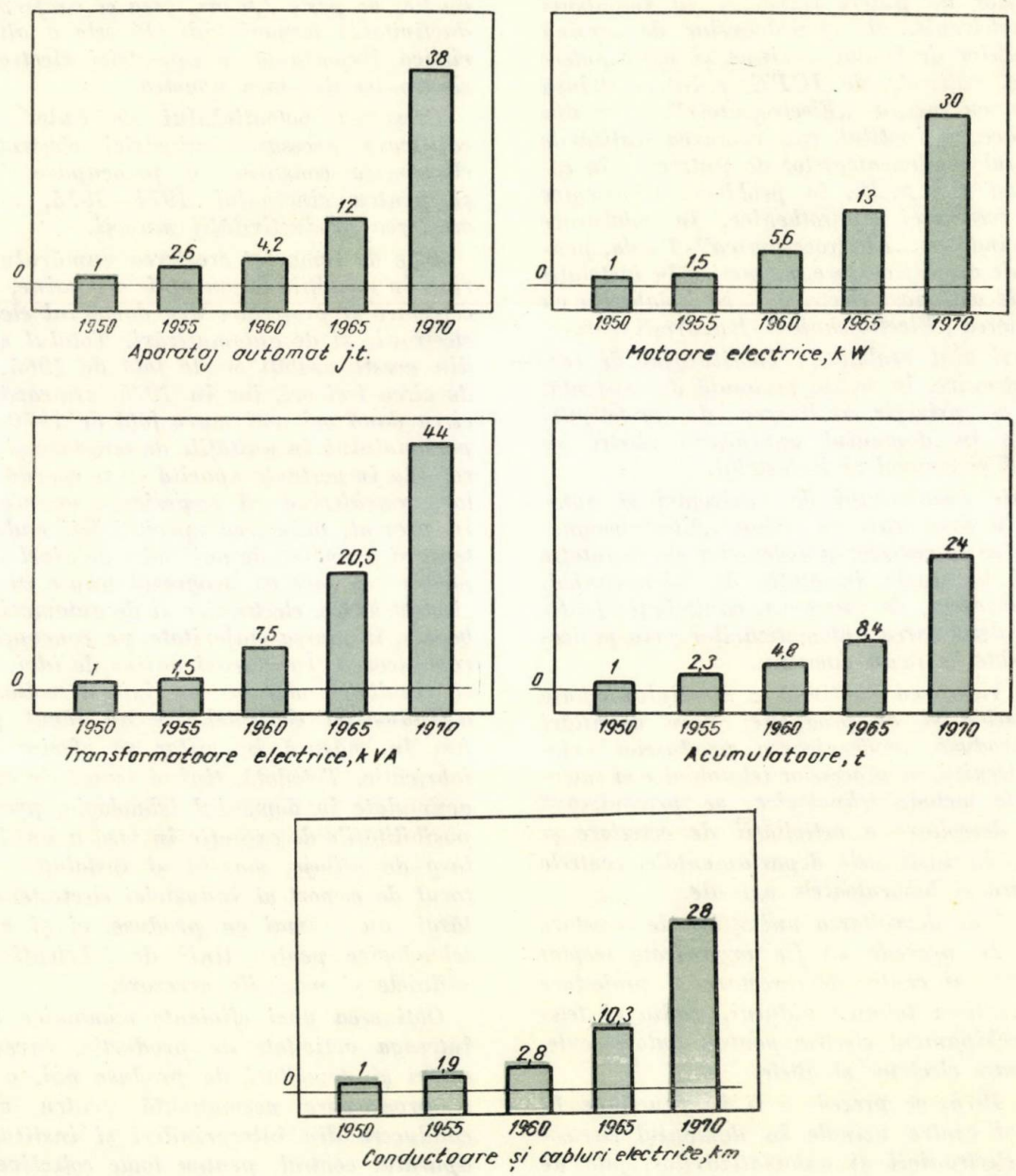
Obținerea unei eficiențe economice sporite în întreaga activitate de producție, investiții, cercetări și dezvoltări de produse noi, a constituit o proecupare permanentă pentru cadrele de conducere din întreprinderi și institute, pentru aparatul central, pentru toate colectivele noastre de muncă.

Graficele și curbele pentru perioada 1950—1970 ce completează conținutul acestui articol, sînt grăitoare pentru eficiența economică superioară a industriei electrotehnice și electronice din țara noastră, acestea confirmă că tendința de creștere mai rapidă a industriei electrotehnice nu reprezintă o situație de conjunctură, ci reflectă o evoluție firească a dezvoltării industriei contemporane.

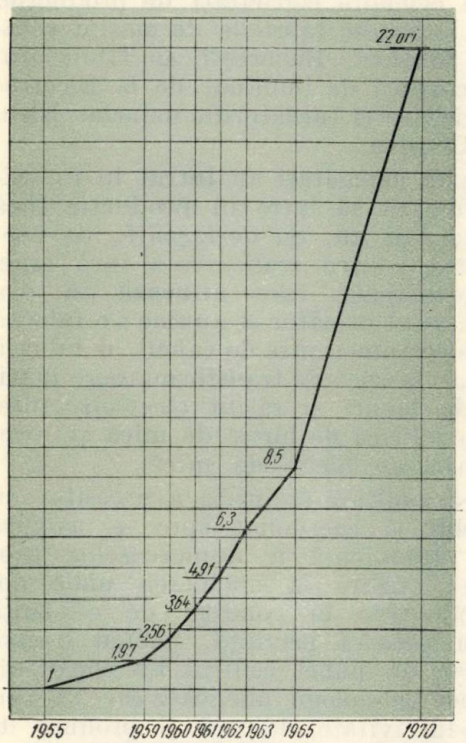
Studiile întocmite pentru dezvoltarea industriei electrotehnice și electronice pe perioada 1971—1975 confirmă justețea și caracterul profund științific al măsurilor preconizate în proiectul de Directive al Congresului al X-lea al P.C.R. cu privire la dezvoltarea în ritm susținut în continuare a industriei electrotehnice și electronice.

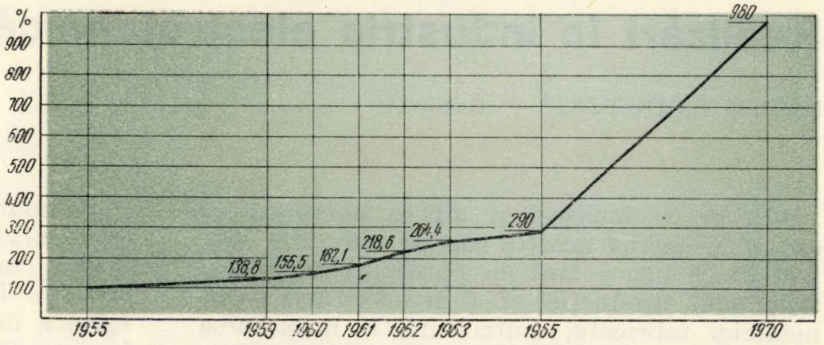
Rezultatele obținute pînă în prezent, entuziasmul cu care colectivele noastre de muncă întîmpină Congresul al X-lea al P.C.R. și a 25-a aniversare a eliberării României de sub jugul fascist, sprijinul acordat de partid și guvern pentru o dezvoltare rapidă, ne îndreptățesc încrederea că industria electrotehnică și electronică își va îndeplini și în viitor rolul de factor de importanță deosebită în dezvoltarea tuturor ramurilor economiei naționale.

Dinamica la principalele sortimente

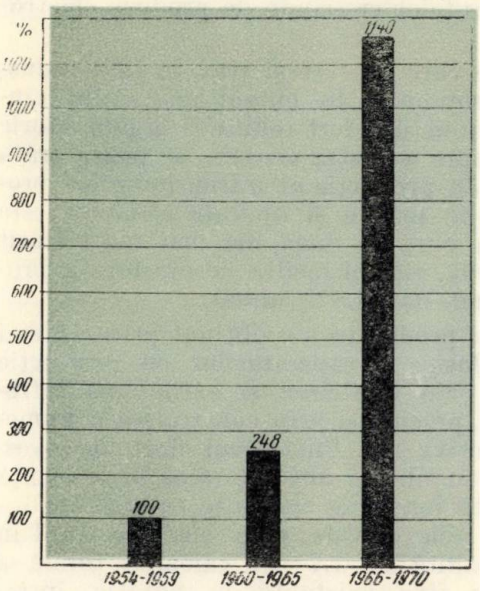


Dinamica producției globale
1955—1970



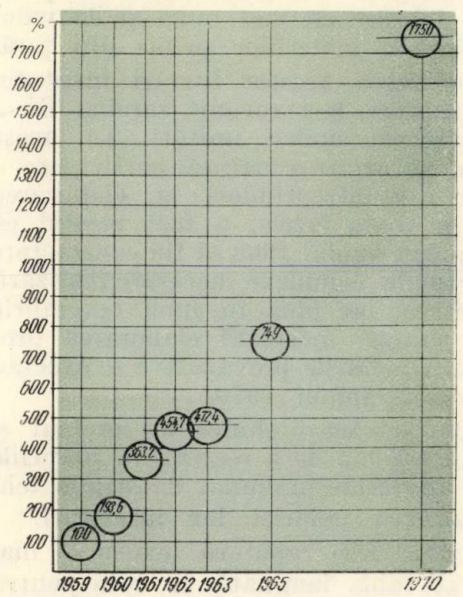


Dinamica mijloacelor fixe

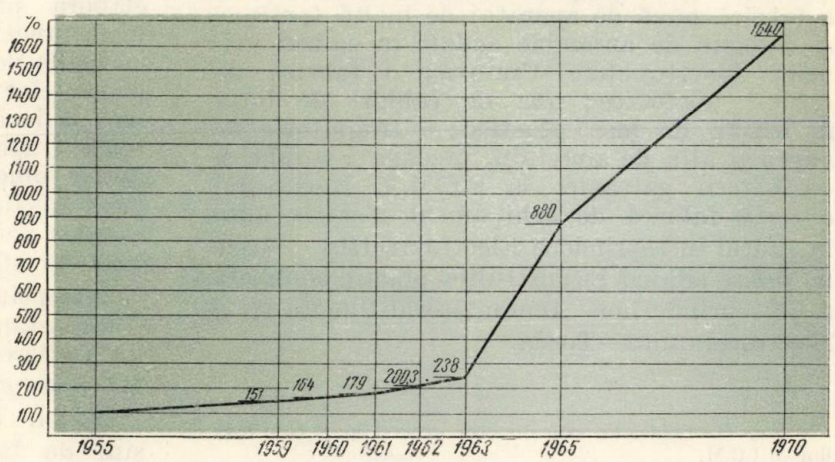


Dinamica investițiilor

Dinamica exportului de produse electrotehnice



Dinamica sporirii productivității muncii



Realizări în industria electrotehnică

ROMEO VLĂDOIANU * — București

CZ 621.312(498)„1945/1969"

Cea de a douăzeci și cincea aniversare a eliberării patriei noastre găsește industria electrotehnică într-o fază de puternică creștere a volumului producției și a diversificării sortimentelor fabricate, contribuind la înzestrarea economiei, ca și la balanța de plăți externe, prin fabricarea și livrarea de produse corespunzînd exigențelor tehnice actuale. Această dezvoltare se desfășoară în conformitate cu prevederile planului cincinal și a unui studiu special, întocmit cu scopul de a asigura satisfacerea cerințelor crescînde de produse electrotehnice.

Sarcinile care au stat și stau în fața industriei electrotehnice în cursul actualului cincinal au impus un efort tehnic și organizatoric deosebit. Spre a ilustra aceasta, se poate arăta că nivelul de producție al întreprinderilor producătoare de mașini și aparate electrice este în anul în curs de două ori mai mare decît în anul 1965, ritmul mediu de creștere a producției fiind de 14,8% anual.

Creșterea producției s-a obținut printr-o mai intensă folosire a capacităților de producție existente, prin reutilarea și extinderea întreprinderilor, precum și prin construirea a numeroase obiective noi. Puternicul efort de investiții făcut în ultimii ani este scos în evidență de faptul că fondurile cheltuite pe anii 1966—1968 plus cele alocate prin plan pe anul în curs reprezintă de 1,7 ori valoarea totală a mijloacelor fixe existente în dotația întreprinderilor producătoare de mașini și aparate electrice la începutul anului 1966.

Douăsprezece fabrici noi au intrat în funcțiune în această perioadă sau se află în fază de probe finale. Este vorba de o fabrică de motoare electrice fracționare și o fabrică de motoare asincrone pînă la 7,5 kW, la Pitești; o fabrică nouă de aparataj de înaltă tensiune și o secție de ansamble sudate în cadrul uzinelor Electroputere—Craiova; o fabrică de cabluri telefonice; una de cabluri de forță în manta de mase plastice; o trefilătorie de cupru și alta de aluminiu, precum și o fabrică de baterii galvanice la F.C.M.E. București; o nouă fabrică de echipament electric auto în cadrul întreprinderii Electroprecizia—Săcele la care se adaugă reconstruirea practic completă a întreprinderilor Acumulatorul-București și Electroceramica—Turda.

Totodată au fost substanțial dezvoltate și modernizate celelalte capacități de producție, dintre care amintesc fabricile de mașini rotative de la Craiova, București, și Timișoara, fabrica de corpuri de iluminat de la Electrobanat—Timișoara și turnătoriile uzinelor Electroputere—Craiova.

Toate aceste capacități au intrat în funcțiune sau urmează să intre în producție încă în cursul acestui an. Se desfășoară, de asemenea lucrări pentru realizarea a încă cinci obiective principale, care urmează să dea producție în anul următor și anume: o fabrică de mașini electromecanice de calcul, o fabrică de frigidere, o fabrică de transformatoare mari, o fabrică de lacuri și rășini electroizolante, precum și o fabrică de hîrtie de mică și produse pe bază de hîrtie de mică.

Întreaga dezvoltare amintită a necesitat un efort deosebit și coordonat spre a asigura rezolvarea armonioasă a numeroaselor probleme care concură la obținerea unor noi unități productive în condiții de eficiență ridicată. În această privință, pentru fiecare nou obiectiv, un punct central l-a constituit alegerea unei tehnologii adecvate care să asigure o productivitate ridicată și produse de calitate superioară corespunzînd cerințelor actuale și la un preț de cost scăzut. În fiecare caz s-au studiat și comparat numeroase variante, ținînd seamă atît de experiența și rezultatele întreprinderilor și institutelor de cercetări de specialitate din țara noastră, cît și de diversele realizări de vîrf pe plan mondial. În alegerea soluțiilor s-a ținut seamă de posibilitățile de folosire cît mai bună și de valorificare optimă a materiilor prime din țară.

Pentru realizarea acestor lucrări institutelor de specialitate le-a revenit sarcina de a elabora proiectele noilor unități. În acest mod precum și printr-o strînsă participare a specialiștilor din întreprinderi la elaborarea proiectelor în toate fazele, a fost posibil ca încă la începutul anului 1968 să fie contractate toate importurile complexe necesare realizării noilor obiective, iar pînă în luna octombrie 1968 să fie practic încheiată elaborarea proiectelor pentru lucrările prevăzute a se executa pînă la sfîrșitul anului 1970.

Întreprinderile electrotehnice au preluat și o importantă sarcină de a realiza, în propriile lor ateliere, un volum însemnat de utilaje tehnologice specifice propriei lor înzestrări.

Astfel, uzina Electroputere execută mașini de tăiat tabla laminată la rece pentru

* Ing. *R. Vlădoianu* este director general la D.G.M.E.E. din M.I.C.M.

transformatoare, mașini de bobinat și altele, F.C.M.E. realizează mașini de emailat, iar în colaborare cu uzina Electroputere a realizat mașini de izolat cu hîrtie a conductoarelor pentru transformatoare, F.C.T.M. produce mașini de izolat conductoare în mase plastice, iar Electrobanat pentru confecționarea duliilor și utilaje pentru baterii galvanice.

Trebuie remarcat, de asemenea, efortul de autoutilare depus pentru înzestrarea noilor capacități de producție create de întreprinderea Electroprecizia—Săcele, care a confecționat benzile de montaj echipament auto cu bancurile de probă precum și o linie de prelucrare. Chiar noua întreprindere Fabrica de motoare electrice Pitești, în numai un an de la intrarea în funcțiune a primei sale secții de producție, a realizat pentru dotarea sa 68 mașini și instalații, printre care cuptoarele pentru menținut aluminiu topit, precum și transportoare cu role.

Numeroase dintre mașinile realizate prin autoutilare sînt utilaje complexe de un nivel tehnic ridicat.

În prezent, în sectorul de utilare al întreprinderilor producătoare de mașini și echipament electric lucrează 430 persoane iar volumul producției acestui sector pe anul în curs se prevede să atingă 25 milioane lei.

Ca urmare a eforturilor coordonate arătate succint mai înainte, s-a reușit să se obțină, pentru toate grupele de produse electrotehnice, o substanțială creștere a volumului producției, împreună cu lărgirea gamei și sortimentelor, precum și o ridicare a nivelului tehnic al produselor, reflectată atît în performanțele mai ridicate, cît și în durabilitatea și siguranța în funcționare sporite. În acest mod a crescut contribuția industriei electrotehnice atît în înzestrarea tuturor ramurilor economiei, cît și la export. Această concluzie iese clar în evidență dacă se arată că, în anul în curs, ponderea producției de mașini și echipament electric în ansamblul producției, Ministerul Industriei Construcțiilor de Mașini, care crește cu 80,6%, față de anul 1965, este de 14,1%, față de 12,7% cît era în anul menționat În același timp, din întregul volum de producție de mașini și aparate electrice, 16,5% se exportă, față de 15,6% în anul 1965. Evoluția continuă ascendentă a acestei subramuri este prezentată în tabela 1.

Creșterile înregistrate la principalele produse sînt indicate în tabela 2.

În paralel, pe bază de studii și cercetări proprii, precum și prin achiziționarea de utilaje de înalt nivel tehnic, iar în unele cazuri — și prin folosirea de licențe s-au introdus în producție noi soluții tehnologice, care contribuie, pe lîngă cele arătate mai înainte, la folosirea mai intensivă a capacităților de producție,

Tabela 1

Evoluția indicatorilor de sinteză ai producției de mașini și aparate electrice

	1965	1966	1967	1968	1969
Indicele de creștere a producției (1965 = 100)	100	118,4	140,0	167,5	193,2
Ponderea în producția M.I.C.M.	12,7	13,3	13,3	13,5	14,1
Procentul livrat la export	15,5	16,8	16,0	17,0	16,5

Tabela 2

Creșterile relative de producție la principalele produse (anul 1965 = 100)

Produse	Unități de măsură	1965	1966	1967	1968	1969
Motoare electrice	MW	100	120,7	134,4	158,3	191,3
Transformatoare	MVA	100	111,3	129,0	151,3	168,8
Aparataj de înaltă tensiune	mil. lei	100	128,2	193,8	231,5	306,7
Conductoare	km	100	116,9	139,5	181,6	202,1
Cabluri	km	100	109,2	144,8	171,7	211,1
Echipament electric autovehicule	mil. lei	100	114,3	114,3	156,2	178,5
Acumulatoare	tone	100	108,7	115,2	144,3	145,0
Elemente galvanice	mii elemente	100	135,6	181,6	203,3	233,1

la creșterea productivității muncii și la reducerea cheltuielilor specifice de producție.

În cele ce urmează se prezintă principalele realizări din ultimii ani, în cadrul diferitelor game de produse.

1. În construcția de mașini rotative s-au realizat, în anii 1966—1968, 240 tipodimensiuni noi, iar în anul în curs se prevede punerea în fabricație a încă 70 de noi tipodimensiuni. Printre acestea pot fi citate, ca realizări deosebite: motoare electrice de tracțiune de 900 kW pentru locomotive electrice, motoare verticale pînă la 800 kW pentru acționarea pompelor de irigații și diferite motoare asincrone mari la Electroputere—Craiova sau peste 60 de tipovariante de motoare electrice în execuție antiexplozivă, la Uzina de mașini electrice București. S-a modernizat seria unitară de motoare asincrone de uz general, prin introducerea gabaritelor, astfel, încît să fie la nivelul celor mai bune realizări ale celorlalți producători din Europa. Astfel, un motor de 3 kW, 1 500 rot/min, care în anul 1965 avea 43,6 kg, astăzi are 24,5 kg.

Un punct deosebit în dezvoltarea producției de mașini rotative îl constituie fabrica de motoare asincrone mici (pînă la 7,5 kW) în carcasă de aluminiu, dată în funcțiune la sfîrșitul anului 1968. Această uzină, construită

în colaborare cu firma franceză „Compagnie Electromecanique", pentru o capacitate de 250 000 de motoare pe an, este echipată după o concepție tehnologică complet nouă, destinată să asigure cea mai mare productivitate, împreună cu o flexibilitate ridicată, spre a satisface în cel mai scurt timp comenzile. Nivelul înzestrării tehnice al acestei fabrici poate fi ilustrat prin realizarea automată a întregului proces de ștanțare a tolelor, care se realizează cu ajutorul unei prese de decupat și a două grupe de cîte trei prese de ancoșat, împreună cu un sistem de transportoare, care livrează în final, separat, tolele pentru stator, tolele pentru rotor și evacuează din hală deșeurile.

Turnarea carcasei se face direct pe pachetul de tole stator în ciclu semiautomat. Prelucrarea mecanică a carcasei, pentru întreaga producție de 250 000 de motoare pe an se realizează de o singură mașină agregat, lucrînd prin transfer, iar prelucrarea celor 500 000 de scuturi este asigurată de două mașini agregat tip carusel. Toate aceste mașini asigură controlul automat al dimensiunii prelucrate, cu oprirea operațiilor la cota stabilită. Bobinele se execută separat și se introduc direct în ancoșe. Întreaga concepție tehnologică a fabricii urmărește realizarea unei economicități ridicate și a unei mari universalități a fiecărei operații, mașini sau scule. Astfel, pentru a se reduce numărul de cochile pentru turnare, toate carcasele se toarnă cu picioare, iar cele destinate motoarelor flanșă sînt apoi tăiate. La fel se obțin carcase de diferite lungimi cu o aceeași cochilă de turnare. Soluțiile alese pentru bobinaj și impregnare permit ca, în condiții economice, întreaga producție realizată să fie utilizabilă și în condiții climatice tropicale.

În ultimii ani s-a dezvoltat puternic și producția de motoare fracționare, destinate bunurilor de consum, echipării autovehiculelor etc. Capacităților de producție existente și care s-au modernizat continuu, de la întreprinderea Electromotor—Timișoara, li s-a adăugat o secție nouă, cu o capacitate de 550 000 buc/an (în două schimburi), la Fabrica de motoare electrice Pitești. Și această nouă secție este echipată cu utilaj tehnologic modern, din care se remarcă mașini agregat de prelucrare și utilaje speciale de bobinat și impregnat. Printre produsele realizate aici se remarcă noul motor de aspirator de praf, cu 15 000 rot/min, care, la o greutate totală de 1,4 kg are o putere de 420 W, față de tipul anterior ce avea o putere de 450 W, cîntărind 2,8 kg.

2. Pentru construcția de transformatoare, pe bază de cercetări și concepție proprie, și în largă măsură prin autoutilare s-a dezvoltat și modernizat fabrica existentă în cadrul uzinelor Electroputere Craiova. Printre principalele realizări ale acestei fabrici pot fi citate: transformatoarele monofazice de 40 MVA — 220 kV pentru hidrocentrala Argeș, și transformatoare trifazate de pînă la 80 MVA, cu tensiuni pînă la 220 kV, destinate echipării termocentralelor și stațiilor de transformare. În prezent se află în faza avansată de execuție transformatoarele bloc de 190 MVA—220 kV pentru hidrocentrala Porțile de Fier, dintre care prima bucată se va livra în acest an.

Pentru a face față dezvoltării continue a sistemului energetic național și în special pentru înzestrarea rețelei de 400 kV, a cărei construcție a început, uzina Electroputere a cercetat și proiectat un autotransformator de 400 MVA, cu tensiune pînă la 400 kV, a cărui construcție urmează a se desăvîrși într-o nouă hală, în curs de execuție. Destinată fabricării unor asemenea giganți, noua hală va avea o suprafață de circa 23 000 m², o înălțime de 32 m, și va fi echipată cu un pod rulant cu forță de ridicare de 320 t. Ea va fi înzestrată cu o autoclavă pentru uscarea transformatoarelor, care datorită dimensiunilor sale, se construiește direct la locul de montare de către sectorul de autoutilare al uzinelor Electroputere.

3. Pentru dezvoltarea producției de aparataj de înaltă tensiune, s-a dat în funcțiune, în anul 1966, o nouă fabrică, în cadrul uzinelor Electroputere. Această nouă unitate productivă, cu o suprafață de 32 180 m², este înzestrată cu utilaje de prelucrare de mare productivitate (strunguri automate cu program, mașină de decupat cu cap revolver și cu poziționare prin coordonate etc.), cu instalații de transport mecanizate și benzi de montaj. O atenție deosebită s-a dat instalației de vopsitorie (care este echipată și cu o baie de vopsire prin electroforeză, prima de acest fel din țară), cît și instalației de acoperiri galvanice cu reglaj automat al regimului de depunere.

Un rol deosebit în realizarea produselor noi în această fabrică îl are atelierul de turnat rășini epoxidice, în care se realizează în prezent practic toate transformatoarele de măsură pînă la 20 kV. Prin trecerea la această nouă soluție constructivă s-au obținut, de exemplu, la transformatoarele de curent de 10 kV o reducere a volumului de 90% și a greutății de 80%, iar la cele de tensiune de 6 kV, reducerile sînt de 90%, respectiv de 43% față de tipurile fabricate ulterior.

Un atelier special înzestrat realizează cilindri destinați confecționării camerelor de stingere pentru întreruptoarele de înaltă tensiune. Acești cilindri, confecționați din pînză de sticlă impregnată cu rășini epoxidice, au fost inițial asimilați pentru unele tipuri de întreruptoare, după licență „Delle". Ulterior ei au fost extinși și la alte produse, cu rezultate foarte bune. În anul 1968, prin folosirea unei camere de stingere confecționată în acest mod, s-a sporit

puterea de rupere a întreruptorului IUP 110, de la 1 900 la 3 000 MVA.

Pe lîngă produsele menţionate, în acest domeniu au mai fost puse în fabricaţie, în ultimul timp, separatoare de sarcini cu cameră plată de 20 kV. Pentru reţeaua de 220 kV se produce un întreruptor cu o putere de rupere de 12 000 MVA, pus în fabricaţie încă din anul 1967, un separator 220 kV — 1 600 A, iar în prezent se finalizează prototipurile unor transformatoare de curent şi tensiune, a căror fabricaţie de serie se va începe încă în acest an.

4. În producţia de cabluri s-au realizat mari progrese. În cursul anului 1966 s-a dat în funcţiune o nouă secţie pentru fabricarea cablurilor telefonice, cu o capacitate nominală de 5 500 km, care se dezvoltă pînă la 7 450 km în anul curent. Noua secţie este echipată cu utilaje moderne, permiţînd realizarea unui sortiment larg de cabluri telefonice şi de semnalizare, izolate în hîrtie şi mase plastice, inclusiv a cablurilor pentru telecomunicaţii interurbane şi urbane cu pînă la 1 200 perechi.

O nouă secţie de cabluri de forţă cu izolaţie din policlorură de vinil este în curs de intrare în producţie. Noua secţie va executa noi sortimente de cabluri, inclusiv cabluri pentru industria minieră şi pentru tensiuni pînă la 10 kV.

5. În domeniul surselor electrochimice, prin punerea în producţie a unor noi linii de fabricat baterii galvanice, înzestrate cu un grad de mecanizare avansat şi prin introducerea unor reţete îmbunătăţite în prepararea bioxidului de mangan s-a ridicat durata de conservare a elementelor galvanice pînă la 12 luni, conform recomandărilor celor mai recente prescripţii ale C.E.I.

Tehnologia de fabricaţie a acumulatoarelor de plumb a fost mult îmbunătăţită prin punerea în funcţiune, la sfîrşitul anului 1968, a unei noi secţii de producţie, cu o capacitate de 8 000 t/an. În noua secţie se folosesc mori giratorii de mare capacitate pentru măcinarea plumbului, maşini agregat pentru turnarea plăcilor şi benzi de montaj, iar formarea acumulatoarelor se face într-o instalaţie în care, spre deosebire de procedeul clasic, bateriile sînt introduse şi scoase de la formare în mod continuu. În construcţia acumulatoarelor s-au introdus o serie de perfecţionări, dintre care se amintesc numai separatoarele din policlorură de vinil poroasă, fabricată chiar în secţia respectivă. Prin ameliorările aduse s-au obţinut importante îmbunătăţiri ale performanţelor produselor.

Dezvoltări şi îmbunătăţiri similare se pot cita şi în legătură cu multe alte categorii de produse electrotehnice. Se va aminti numai pe cele privind echipamentul electric pentru autovehicule. În momentul de faţă este în curs de utilare o nouă secţie, la întreprinderea Electroprecizia, în care urmează a se fabrica produse de o concepţie nouă. Încă în acest an, se va trece la fabricarea de alternatoare, în locul dinamurilor auto. De asemenea se începe producţia unui nou tip de bobine de inducţie în ulei, care au o durabilitate mult sporită faţă de cele fabricate anterior.

Este evident că, prin toate aceste dezvoltări, industria electrotehnică contribuie din plin la înzestrarea celorlalte ramuri ale economiei. Se poate face o paralelă concludentă între punerea în fabricaţie a echipamentului de 220 şi 400 kV, cu etapele corespunzătoare de înzestrare a sistemului energetic naţional cu reţelele de 220 şi 400 kV. Tot astfel, este o strînsă legătură între realizarea noilor tipuri de cabluri telefonice şi introducerea automatizării interurbane a telefoniei în ţara noastră. Numeroase tipuri de maşini electrice au fost create special pentru înzestrarea unor utilaje specifice din industria chimică a cimentului, a prelucrării lemnului, pentru irigaţii şi altele.

Industria electrotehnică are un rol important în înzestrarea căilor ferate cu mijloacele necesare pentru electrificare. Ea a livrat întreg echipamentul staţiilor de alimentare şi a început în anul 1967, fabricarea de locomotive de 5 100 kW, după licenţă ASEA. Un efort deosebit îl reprezintă asimilarea echipamentelor electrice ale acestor locomotive, cum sînt: motoarele de tracţiune, transformatorul-graduator, motoarele auxiliare cu alimentare bifazată. Această acţiune este în prezent în mare măsură încheiată.

Toate produsele noi electrotehnice necesită materiale cu performanţe superioare. În construcţia transformatoarelor s-a generalizat folosirea tablei silicioase laminată la rece, cu cristale orientate, cu pierderi de 0,55 W/kg. Folosirea acestui material a impus introducerea de cuptoare de recoacere şi utilaje speciale de tăiere. Prin reproiectarea transformatoarelor pentru acest nou material magnetic s-au obţinut importante reduceri de greutate. Spre exemplu la seria de transformatoare 100—1 600 kVA realizată în 1969, comparativ cu 1965, s-a obţinut o reducere a greutăţii materialelor active cu circa 6% şi micşorarea pierderilor totale cu circa 12%. În prezent se fac cercetări pentru introducerea tablei de pierderi reduse şi în construcţia motoarelor asincrone.

După calcule preliminare, verificate pe prototipuri, se poate obţine în acest mod o reducere a consumului specific de tablă pentru circuitul magnetic în medie de 0,7 kg/kW.

Eforturi şi mai importante se depun pentru modernizarea materialelor izolante. Prin cooperare cu industria chimică şi petrolieră s-au

introdus în construcţia maşinilor electrice din ţara noastră în ultimii ani :

— lacuri de impregnare de clasă B şi F pe bază de răşini fenolice modificate şi de răşini poliesterice ;

— răşini epoxidice — de turnare — de tip Araldit ;

— uleiuri de transformator de puritate ridicată.

De asemenea, s-a trecut la fabricarea conductoarelor emailate, izolate cu lacuri polivinil formal, poliuretanice şi poliamidice, precum şi a conductoarelor izolate cu email şi sticlă. În acest scop se utilizează în prezent maşini de mare productivitate, cu o viteză de lucru de 5 m/min (pentru conductoare de Ø 0,9 mm), încălzirea făcîndu-se cu gaze, cu ardere catalitică.

Pentru izolaţia de crestătură, Fabrica de cabluri şi materiale electroizolante produce diverse tipuri de izolaţie combinată, ca izolaţii pe bază de mică şi hostafan (HMH), sticlă şi hostafan (HSH), mică şi sticlă (SMS).

Totuşi sortimentul de materiale izolante care se fabrică în prezent este încă insuficient faţă de cerinţele producătorilor de maşini electrice, numeroase tipuri de materiale fiind încă procurate din import. Pentru lărgirea sortimentului de lacuri şi răşini electroizolante necesare industriei electrotehnice, a început să se construiască o nouă secţie de fabricaţie, în cadrul F.C.M.E., care urmează să intre în producţie în anul viitor. În această secţie se vor executa lacuri poliesterinidice, poliimidice, poliester-tereftalice, fenolcrezolice etc.

În prezent se află în curs de execuţie şi o secţie pentru fabricarea hîrtiei de mică şi a produselor pe bază de hîrtie de mică, realizată în cooperare cu două întreprinderi de specialitate străine. Această secţie, care urmează să fie complet montată pînă la sfîrşitul acestui an, va permite să se valorifice mica măruntă şi să se obţină unele izolaţii indispensabile în construcţia generatoarelor de mare putere şi a motoarelor electrice mari.

Progresul tehnic continuu, ca şi necesitatea verificării permanente a calităţii produselor executate, au necesitat înzestrarea tuturor întreprinderilor cu laboratoare precum şi cu standuri de încercări bine utilate. Printre acestea un rol important în ceea ce priveşte realizarea echipamentelor necesare sistemului energetic, îl reprezintă laboratoare de încercări pentru tensiuni foarte înalte. În cursul acestui an se va pune în funcţiune un laborator de încercări la uzinele Electroputere şi un altul la întreprinderea Electroceramica. În primul din acesta se vor putea efectua încercări la frecvenţa de 50 Hz la tensiuni pînă la 1 200 kV, iar în al doilea pînă la 800 kV, în timp ce tensiunea de încercare prin undă de şoc este de 2 400 kV, respectiv 2 000 kV. Aceste tensiuni sînt suficiente pentru experimentarea tuturor aparatelor şi produselor noi, pentru toate gamele de tensiuni şi toate condiţiile de funcţionare.

Standurile de încercări ale secţiilor de fabricaţie pentru transformatoare şi aparataj de înaltă tensiune ale uzinelor Electroputere au de asemenea posibilităţi de încercare foarte ridicate. Ele realizează tensiuni de 500, respectiv 800 kV la frecvenţa de 50 Hz şi 750, respectiv 1 200 kV pentru unda de şoc şi sînt folosite pentru încercările curente şi pentru verificările periodice de tip ale produselor fabricate.

Grijă deosebită pentru efectuarea obiectivă, completă şi în acelaşi timp operativă a tuturor încercărilor de verificare a produselor se dă şi în celelalte întreprinderi. O rezolvare originală şi foarte modernă s-a dat acestei probleme la Fabrica de motoare asincrone de la Piteşti, unde toate verificările se fac automat, pe baza unui program secvenţial stabilit pe cartelă perforată, funcţie de caracteristicile nominale ale motoarelor. În cazul unui rezultat nesatisfăcător, programatorul se opreşte automat, reclamînd înlăturarea produsului necorespunzător.

Desfăşurarea cu succes a dezvoltării planificate a industriei electrotehnice a asigurat o creştere corespunzătoare a productivităţii muncii şi de scădere a cheltuielilor de producţie. Dacă în anul 1965, în întreprinderile producătoare de maşini şi echipament electric pentru un volum de producţie de o mie lei se foloseau 17,27 ore salariat, în anul 1968 această cifră a scăzut la 12,25 ore. În acelaşi timp costurile de producţie pentru 1 000 lei s-au redus cu 76,27 lei. Eficienţa economică a investiţiilor se situează la un nivel ridicat, similar celui obţinut în această ramură în ţări cu nivel tehnic avansat, raportul între sporul anual de producţie şi cheltuielile de investiţii efectuate situîndu-se, în ultimii ani la valori cuprinse între 1,16 şi 2,31.

Aceste rezultate îndreptăţesc să se aprecieze că întreprinderile producătoare de maşini şi echipament electric vor îndeplini şi depăşi prevederile planului cincinal la toţi indicatorii creînd premise pentru dezvoltarea în continuare în ritmuri susţinute, a acestei producţii, importante pentru întreaga economie.

Stadiul actual și perspective în fabricația de micromotoare

DUMITRU F. LĂZĂROIU și SIGISMUND SLAIHER* — București

CZ 621.313.17 : 621.312

Dezvoltarea rapidă a mecanizării și automatizării în toate ramurile industriale, în agricultură, transporturi, în uzul casnic, medicină, instituții de cultură și în alte ramuri, a dus la o creștere importantă a producției de echipamente electrice, dintre care micromașinile ocupă un loc important. Este de aceea explicabilă, în ultima vreme, sporirea medie anuală a producției mondiale de micro-mașini electrice, de diferite tipuri, cu peste 20%, ceea ce întrece cu mult ritmurile de creștere ale altor produse electrotehnice. Se poate aprecia că foarte curînd volumul producției de micromașini va reprezenta 30% din volumul producției tuturor mașinilor electrice.

În acest articol, după o clasificare adecvată a micromașinilor, justificată de diversitatea și relativa noutate a domeniului, se trec în revistă bazele fabricației de micromotoare, înțelegînd prin aceasta studiile teoretice, problemele constructiv-tehnologice, cum și lucrările experimentale necesare asigurării dezvoltării cu succes a producției de micromașini electrice în țara noastră.

1. Clasificări

În domeniul de care ne ocupăm, spre deosebire de cel al mașinilor clasice, nu există un sistem unic de clasificare pus la punct. Aceasta se explică prin diversitatea de tipuri de micromașini, largul domeniu de utilizare a acestora, cum și multiplele principii funcționale și soluții constructive care stau la baza lor.

Însăși gama de mașini electrice considerate că aparțin grupei micromașinilor este diferită la diverși autori. Astfel, după unii, în special cei de formație anglo-saxonă, în categoria micro-mașinilor intră numai mașinile de puteri pînă la cîțiva wați, celelalte, de puteri superioare, intrînd la grupa mașini de puteri fracționare; după alții, printre care și autorii sovietici, prin micro-mașini înțeleg mașini pînă la cîteva sute de wați. Noi vom adopta în prezentul articol acest din urmă punct de vedere.

Luînd ca bază criteriul utilizării, micromașinile se pot clasifica în următoarele grupe:

— de uz general, destinate acționării diferitelor mecanisme, la care se impun performanțe minime, la un preț de cost cît mai scăzut; se cuprind aici elementele motorice pentru mașinile de spălat rufe și vase, mașini de cusut, aspiratoare de praf, lustruitoare, ștergătoare de parbrize, aeroterme, servomotoare pentru unele mașini-unelte la care motorul poate fi constructiv conceput aproape independent de sistemul de antrenare;

— de uz special, cărora le sînt impuse forme constructive speciale, corespunzătoare numai unor anumite aplicații (încorporate, submersibile, ermetice etc.), sau care trebuie să răspundă la parametri funcționali speciali (turații scăzute, motoare de cuplu etc.); în această categorie ocupă un loc important micromotoarele pentru unele bunuri de larg consum ca frigiderele, mixere și roboți electrici de bucătărie, instalații de aer condiționat, ventilatoare de masă, uscătoare de păr, cum și pentru unelte electrice ca mașini de perforare, șlefuitoare, foarfeci de tablă, ferăstraie, rindele și freze, foarfeci de tuns iarba, de tuns oi, dispozitive de agitare, vibratoare, ciocane, pistoale cu injecție și altele;

— pentru automatizări, cărora li se impun realizări de performanță ridicată, în special de inerție redusă, gabarit minim și siguranță în funcționare ridicată, bineînțeles la preț de cost corespunzător; în această categorie intră servomotoare pentru antrenarea și lectura benzilor perforate sau magnetice, servomecanisme pentru instrumente, echipamentul periferic al calculatoarelor, servomecanismul de comandă a mașinilor unelte și vanelor, servomotoarele din domeniul aerospațial, majoritatea acestor acționări fiind prevăzută cu comandă electronică, obținîndu-se în acest mod și un reglaj în limite largi de turație.

Din punct de vedere funcțional, micromașinile din primele două grupe pot fi clasificate în următoarele tipuri:

a) motoare asincrone
   — trifazate,
   — monofazate (cu fază auxiliară cu condensator sau cu rezistență, cu pol ecranat);

b) motoare sincrone
   — reactive (monofazate sau trifazate),
   — cu histerezis;

c) motoare cu colector
   — universale
   — de curent continuu.

* Conf. dr. ing. *D. F. Lăzăroiu* este director la I.C.P.E., iar ing. S. Șlaiher este șeful laboratorului de micromașini din același institut.

Micromaşinile pentru automatizări cuprind în principal:

a) servomotoare
   — bifazate (cu rotorul în scurtcircuit, cu rotorul în formă de pahar, cu rotorul feromagnetic, cu circuite imprimate)
   — de curent continuu (clasice, cu circuite imprimate, de tip Minertia),
   — pas cu pas (inclusiv cu circuite imprimate);
b) tahogeneratoare
   — asincrone,
   — de medie frecvenţă,
   — de curent continuu;
c) selsine;
d) transformatoare rotative
   — liniare
   — de sinus şi cosinus.

2. Bazele fabricaţiei de micromotoare

Pe măsura lărgirii problemelor care se pun în faţa construcţiei de micromaşini electrice, mai ales pentru domeniul de automatizări, a crescut nomenclatura acestora şi, de asemenea, cerinţele impuse preciziei lor. De aceea, fabricarea micromaşinilor la scara meşteşugărească, care a stat la baza dezvoltării iniţiale a acestor maşini, este în prezent inaplicabilă. Pentru asigurarea unei fabricaţii de micromaşini electrice de calitate, care să corespundă nivelului tehnic actual, se impune efectuarea unor cercetări ştiinţifice corespunzătoare şi a unei corecte politici tehnice în această ramură.

Evident că, în funcţie de grupa la care aparţine micromotorul analizat, apar şi problemele specifice care se impun a fi rezolvate. Astfel, pentru micromaşinile electrice de uz general, indicii cei mai importanţi ce trebuie realizaţi sînt cei energetici, cum şi preţul redus, durata de viaţă, siguranţa în funcţionare, comoditatea de exploatare.

Întrucît producţia maşinilor din acest grup este preponderentă, prezintă o deosebită importanţă nivelul tehnologic la care sînt realizate.

La micromotoarele din grupa de uz special apar probleme legate de realizarea unor maşini care să se integreze în ansamblul pe care îl acţionează, impunîndu-se adesea gabarite cît mai reduse şi de formă plată, ceea ce implică încărcări electrice (densităţi de curent) şi magnetice (inducţie magnetică) ridicate, deci o atenţie specială pentru clasa termică a materialelor utilizate şi pentru condiţiile de răcire. Deoarece aceste micromotoare sînt de regulă la limita superioară a puterilor din această clasă, un rol important îl au indicii energetici.

Pentru micromaşinile din grupa pentru automatizări, care trebuie să aibă o mare viteză de răspuns, apare ca necesară realizarea unor inerţii mecanice şi electromagnetice cît mai reduse. De asemenea, deoarece o parte din micromaşinile din această grupă îndeplines, sarcina de a traduce mărimi mecanice (viteză acceleraţie, unghi) într-un semnal electric, se impune realizarea unor erori de transformare reduse (0,02—0,2%), sensibil mai mici ca la aparatele electrice de măsură. Evident că, pentru această grupă de maşini, indicii energetici prezintă o importanţă secundră.

În cele ce urmează, se vor prezenta principalele cercetări teoretice, probleme constructive şi tehnologice precum şi lucrări experimentale care stau la baza pregătirii unei producţii judicioase de micromaşini. Dezvoltarea rapidă şi multilaterală a micromaşinilor în ultimul deceniu, cum şi parametrii speciali care sînt impuşi adesea acestor maşini, fac necesară adaptarea unor studii existente pentru cazul maşinilor clasice sau elaborarea unor noi studii specifice, legate nemijlocit de tipurile de maşini analizate.

Elaborarea problemelor generale ale teoriei şi principiilor de calcul. Cu tot numărul destul de variat al micromaşinilor şi al diversităţii formelor lor constructive, aceste maşini prezintă numeroase aspecte comune din punct de vedere funcţional, tehnologic, de proiectare şi de încercare, în funcţie de structura circuitului magnetic, de tipul înfăşurării şi de modul de excitaţie, ceea ce justifică şi permite tratarea lor într-un mod unitar. Este însă indicat să se facă o analiză detaliată a funcţionării maşinii, ţinînd seamă de parametrii săi specifici, şi în consecinţă să se precizeze relaţiile de calcul de bază. La o astfel de analiză, este util a se opera cu valorile relative ale parametrilor care intervin (raportate de regulă la valorile nominale), din care să se deducă caracteristici standard. În unele cazuri se pot accepta simplificări, dacă sînt justificate de gradul de precizie impus, plecînd de la ecuaţiile generale şi aplicînd legile similitudinii, avînd la bază un prototip etalon.

Crearea unor metodici inginereşti de calcul, de înaltă calitate. Micromaşinile electrice, spre deosebire de maşinile electrice mari, prezintă o serie de particularităţi, de care este absolut necesar să se ţină seamă în proiectare, dintre care cele mai importante sînt:

— o influenţă majoră, care adesea nu se poate neglija, a unor parametri primari asupra caracteristicilor maşinii;

— repartiţie nesinusoidală a cîmpului magnetic în întrefier, ca urmare a numărului mic de crestături;

— rază mare de curbură a armăturilor statorice şi rotorice, ceea ce duce la nejustificarea tratării teoretice a maşinii desfăşurate;

— rol redus al proceselor tranzitorii electromagnetice, ca urmare a valorilor relativ mari ale rezistenţelor, în comparaţie cu reactanţele;

— valoarea relativ ridicată a pierderilor mecanice şi suplimentare;

— dependenţă a regimului termic al maşinii de modul de fixare şi chiar de starea suprafeţei exterioare, ceea ce îngreunează calculul termic;

— influenţă sensibilă a asimetriilor de diferite feluri, provocate de inexactitatea prelucrărilor, asupra caracteristicilor maşinilor;
— volum restrîns de calcule mecanice.

Ţinînd seamă de acestea, se impune ca, la maşinile din primele două grupe, să se stabilească metodici simple de calcul ale caracteristicilor energetice, cu o precizie admisibilă pentru practică (10—15%); pentru micromaşinile de automatizare, partea energetică de calcul poate fi şi mai aproximativă, însă calculul factorilor de transformare trebuie executat extrem de minuţios. În acest caz este deosebit de importantă aprecierea erorilor admisibile, cu caracter tehnologic şi elaborarea unui mod general de tratare a erorilor din punctul de vedere al teoriei statistice.

Realizarea unor calcule tehnico-economice şi a unei tehnologii adecvate pentru maşinile de serie mare de fabricaţie. În aceste calcule este necesar să se ţină seamă de toţi acei factori care duc la obţinerea unor caracteristici impuse, ca de exemplu de regimul termic, de costul materialelor utilizate la un anumit nivel al tehnologiei, de cheltuielile de exploatare, de durata de viaţă, de nivelul de zgomot etc. Întrucît numărul acestor parametri este mare şi în plus o parte din ei sînt corelaţi între ei prin legi de interdependenţă, calculele tehnico-economice sînt extrem de laborioase şi, pentru optimizare, impun utilizarea obligatorie a calculatorului electronic.

Studiul zgomotului. Problema luptei cu zgomotul are o importanţă cunoscută pentru toate maşinile electrice, dar în cazul micromaşinilor, şi în special al celor utilizate în aparatura de înregistrare şi de reproducere a sunetelor, a aparaturii de cinema, a tehnicii de uz casnic etc., această problemă joacă un rol deosebit. Dificultatea problemei analizate constă în aceea că asupra nivelului de zgomot, creat de maşină, influenţează următorii factori extrem de diferiţi şi complicaţi:
— sursele directe de oscilaţii acustice de natură electromagnetică, sub formă de vibraţii mecanice şi de mase de aer în mişcare;
— propagarea acestor oscilaţii acustice spre suprafeţele de radiaţie;
— aria efectivă a suprafeţei de radiaţii, de care depinde mult fenomenul de rezonanţă;
— condiţiile de propagare a sunetului în aparatul în care se montează micromaşina.

Studiul repartiţiei cîmpului magnetic în întrefier. Acest studiu prezintă o deosebită importanţă, în special la micromotoarele cu histerezis, cu poli gheară, cu rotorul în pahar, cu circuite imprimate etc., deoarece de repartiţia cîmpului magnetic în întrefier depind forţele şi cuplurile utile şi parazite în maşină. Necesitatea studiului este condiţionată în general de faptul că, la micromaşini, repartiţia crestăturilor şi execuţia concentrată a înfăşurărilor conduc la apariţia unui procentaj ridicat de armonici spaţiale superioare de cîmp, la o distribuţie neuniformă a cîmpului tridimensional în lungul maşinii. Studiul minuţios al cîmpului în întrefier, utilizînd metode aproximative de calcul (metoda relaxaţiei, Monte Carlo) combinate cu măsurători directe de explorare a cîmpului prin utilizarea de sonde Hall, permit să se precizeze relaţii de calcul pentru determinarea parametrilor maşinii.

Studiul erorilor micromaşinilor pentru automatizări. În ultima perioadă, ca urmare a unor necesităţi obiective, au apărut un număr relativ mare de lucrări consacrate problemelor de analiză a erorilor la micromaşinile pentru automatizări şi în special la selsinuri, tahogeneratoare, servomotoare de precizie etc. În funcţie de natura lor, erorile acestor maşini sînt de patru feluri:

— erori ce decurg din principiul de funcţionare;
— erori datorite limitărilor constructive;
— erori tehnologice;
— erori datorite modificării condiţiilor de exploatare.

Posibilităţile de creştere a preciziei micromaşinilor din grupa pentru automatizări, obţinută prin micşorarea erorilor primelor două grupe, sînt în mare măsură epuizate. În prezent se poate acţiona cu succes asupra ultimelor două surse de erori şi în special asupra erorilor de natură tehnologică. Întrucît acestea sînt condiţionate în primul rînd de calitatea fabricării circuitului magnetic şi în special de asimetria lui electromagnetică, se impune studiul modelului de maşină asimetrică, care să conducă la elaborarea unor metode de control al proprietăţilor electromagnetice ale circuitului magnetic, permiţînd obţinerea unui nivel dat al erorilor tehnologice ale maşinilor.

Una dintre problemele importante, care de asemenea depinde direct de erorile tehnologice, este realizarea unor transmisii sincrone de gabarit redus cu erori unghiulare minime (5—10 s), obţinute pe principiul inducţiei electrice. Inductosinele folosite în prezent în acest scop sînt complicate, în special sub aspectul utilizării unui amplu aparataj electronic, de aceea realizarea unor micromaşini electrice de gabarit redus, care să execute funcţii analoge, reprezintă o problemă actuală.

Realizarea de servomotoare cu inerţie redusă. Ca urmare a condiţiilor inerţiale impuse, au apărut aşa numitele maşini cu înfăşurări pe principiul circuitelor imprimate care, spre deosebire de maşinile electrice clasice, prezintă un întrefier axial plan şi înfăşurări plan radiale. Dezvoltarea acestor tipuri de maşini a fost posibilă datorită extinderii tehnologiei de fabricaţie a circuitelor imprimate din domeniul aparaturii radioelectronice. În ultima perioadă a fost pusă la punct o nouă tehnologie de

obţinere a circuitului imprimat printr-un procedeu mecanic de ştanţare. Studiile începute în acest sens la Institutul de cercetare şi proiectare pentru industria electrotehnică şi la Institutul politehnic-Bucureşti, trebuie continuate cu cercetări tehnologice pentru realizarea de înfăşurări multistrat şi obţinerea de magneţi permanenţi cu energie mare (pînă la 9.10^6 Gs.Oe).

Pe lîngă maşinile cu întrefier axial s-au mai dezvoltat în varianta clasică, cu întrefierul cilindric, aşa zisele motoare cu inerţie redusă de curent continuu (tip Minertia), la care raportul dintre diametrul şi lungimea rotorului este extrem de mic, cum şi cele la care rotorul în formă de pahar, neferomagnetic se roteşte între două statoare feromagnetice.

Realizarea micromaşinilor fără contact, alimentate prin convertizoare cu dispozitive semiconductoare. În scopul creşterii siguranţei în funcţionare a sistemelor automatizate, există tendinţa de a folosi maşini electrice fără contact, în special în domeniul acţionării servomotoarelor reglabile de la 0,5 W la cîteva zeci de W. Pînă nu de mult, pentru acest domeniu se recurgea la motoare bifazate comandate, cu rotorul în colivie (0,5—4 W), sau cu rotorul neferomagnetic în formă de pahar (4—40 W) totuşi, pentru puteri sub 0,5 W, indicii energetici ai acestor motoare sînt foarte slabi, iar pentru puteri peste 40 W—50 W este complicată fabricaţia.

În prezent sînt elaborate sisteme de microacţionări reglabile prin utilizarea motoarelor asincrone trifazate, comandate cu ajutorul bobinelor de şoc saturate. Deosebindu-se printr-o mare siguranţă în funcţionare, aceste sisteme nu pot fi utilizate decît în unele cazuri speciale, din cauza indicilor energetici extrem de reduşi, cum şi a gabaritelor şi greutăţii mari.

O nouă grupă de micromaşini este prevăzută cu dispozitive semiconductoare, cu ajutorul cărora se obţine comutaţia electronică în locul colectorului, cu aplicaţie practică la orice putere în domeniul analizat. Deosebindu-se printr-un randament înalt, aceste convertizoare prezintă avantaje faţă de cele electromecanice, atît în privinţa gabaritului, cît şi a greutăţilor. Astfel, dacă pentru convertizoarele electromecanice revine un raport de circa 20 W/kg, pentru cele statice se tinde a se ajunge la circa 65 W/kg.

De asemenea, se pune problema realizării convertizoarelor cu semiconductoare pentru reglarea turaţiei micromotoarelor de curent continuu şi alternativ fără contacte. În prezent există două direcţii în folosirea unor astfel de convertizoare : comanda independentă a motoarelor, cînd frecvenţa şi, prin urmare, turaţia motorului depinde de o sursă independentă şi comanda motoarelor de curent continuu fără contacte, în care convertizorul (comutatorul) execută şi funcţia colectorului mecanic clasic. Păstrînd indicii energetici buni ai maşinilor de curent continuu, aceste micromotoare nu prezintă dezavantajele produse de colector. Acest tip de micromaşini îşi găseşte utilizarea nu numai la acţionări reglabile în sisteme automate, ci şi la magnetofoane portative, picupuri, aparate de proiecţie, jucării etc. Elaborarea metodelor de calcul al acestor maşini, care prin construcţia lor se apropie mai mult de motorul sincron cu magneţi permanenţi şi de motoarele pas cu pas cu rotor activ, reprezintă o problemă ştiinţifică de sine stătătoare.

Probleme constructive şi tehnologice. Pentru producţia de serie, caracteristică micromaşinilor electrice, cum şi pentru obţinerea performanţelor impuse, este necesară studierea cu atenţie a problemelor constructive şi tehnologice, a căror rezolvare necesită continuarea şi aprofundarea unor cercetări ştiinţifice, începute cu mulţi ani în urmă, care se enumeră în cele ce urmează :

— realizarea unor serii unificate de micromaşini de uz general, cu folosirea maximă a subansamblelor şi construcţiilor tip, avînd preţul de cost de fabricaţie minim ; ca bază de plecare pot fi luate actualele serii, supuse optimizării şi continuei modernizări ;

— elaborarea unui număr relativ mic de acţionări tip motor-sarcină, folosite în diferite bunuri de larg consum electro-casnice sau scule electrice ;

— elaborarea unor ansamble tip de micromaşini pentru automatizări, care includ un generator selsin sau traductor şi mecanismul de execuţie compus dintr-un servomotor comandat, un selsin sau receptor, tahogenerator, reductor mecanic şi mijloacele de corecţie. Se impune de asemenea elaborarea unor combinaţii raţionale ale unor astfel de ansamble, care să condiţioneze caracteristicile şi formele lor constructive ;

— introducerea în fabricaţie a unor serii de micromaşini cu înfăşurări din aluminiu, avînd un timp de exploatare relativ redus (pînă la 300—400 ore pe an) şi o largă utilizare (fabricaţie de cîteva milioane buc. pe an), ca de exemplu maşini de spălat, aparate de lustruit parchetul etc. Rezolvarea acestor probleme prezintă o deosebită importanţă economică şi poate să ducă la o economie de mii de tone de cupru anual ;

— pentru obţinerea unor produse de bună calitate, o importanţă primordială o are precizia executării de micromaşini. Evident că, în procesul tehnologic de execuţie a unor tipuri de micromaşini electrice, trebuie să se prevadă măsuri speciale de asigurare a unei precizii necesare, impuse. În consecinţă este necesar să se respecte o dotare tehnologică minimală de de SDV-uri şi utilaje în linii tehnologice, cum

și să se elaboreze un complet minim necesar de aparate de măsură și control al unor subansamble ale mașinilor în fabricația lor de serie;

— folosirea metodelor înaintate de fabricație, care să permită ca prelucrarea mecanică să fie redusă la minimum, introducerea automatelor pentru operațiile de bobinare, larga folosire a noilor polimeri pentru izolația crestăturii și a părților frontale cum și rigidizarea întregii micromașini cu mase rezistente la orice solicitări mecanice și climatice, fără sporirea manoperei specifice și a ciclului de fabricație;

— pentru micromașinile de toate tipurile se impune studierea unei forme constructive adecvate, care să țină seamă de punctul de vedere modern al esteticii industriale, cum și de interschimbabilitatea reperelor și de tehnologia de grup, conferind astfel o cît mai mare elasticitate liniilor de fabricație, în sensul micșorării ciclului circuitului comandă-livrare;

— pentru micromașinile cu întrefier axial se impune elaborarea tehnologiilor de fabricație curentă, în special în privința procedeelor fotochimice și a celor de ștanțare și sudare a conductoarelor imprimate, respectiv ștanțate.

Lucrări experimentale. Partea de încercări, aferentă micromașinilor, se deosebește în mare măsură de încercările mașinilor clasice. În legătură cu aceasta sînt de menționat cercetările care trebuie să conducă la atingerea următoarelor obiective:

— realizarea unor metode sigure și adecvate pentru încercările micromașinilor. Pentru cele din grupa de automatizare se impune utilizarea unor metode de compensație, cu folosirea unui aparataj de măsură foarte precis și excluderea sarcinilor suplimentare.

Este foarte important să se determine volumul minim necesar al încercărilor la care se supun micromașinile în producția lor de serie, concomitent cu organizarea pe scară mai largă a automatizării încercărilor uzinale;

— elaborarea judicioasă a încercărilor micromașinilor, în vederea determinării parametrilor siguranței în funcționare, utilizînd atît metode de durată, cît și metode accelerate;

— cercetări pentru stabilirea parametrilor micromașinilor. Există în prezent posibilități de dezvoltare de noi metode mai precise pentru determinarea parametrilor micromașinilor, în special legate de posibilitățile de prelucrare de date, utilizînd calculatorul electronic;

— efectuarea de lucrări pentru modelarea electrică a micromașinilor. După cum se știe, un număr apreciabil de parametri, care determină funcționarea mașinii, se pot obține din schemele echivalente ale acestora. În cazul micromașinilor monofazate, tahogeneratoarelor, mașinilor cu convertizoare, aceste scheme prezintă un aspect destul de complicat. Realizarea lor necesită elaborarea unor mese electrice speciale, utilate cu un complex de aparatură și surse de alimentare relativ numeroase;

— o largă dezvoltare a studiilor experimentale asupra nivelului zgomotelor micromașinilor. Aceste lucrări necesită camere speciale (anecoide) și aparatură pentru analiza spectrală a zgomotului. Din punct de vedere al cercetării, o importanță deosebită o are prelucrarea statistică a datelor obținute din încercări;

— stabilirea unei baze experimentale pentru determinarea cîmpului magnetic în întrefierul micromașinilor. Așa cum s-a arătat, cunoașterea cîmpului deformat din întrefier prezintă pentru această clasă de mașini o importanță deosebită. În acest scop este comod a se utiliza sonde Hall de grosime foarte redusă (sub 0,3 mm), împreună cu un dispozitiv de precizie de poziționare în cîmp, de preferat în coordonate cilindrice. În acest mod, se poate determina întreaga repartiție a cîmpului sau numai pe un contur judicios ales, după cum permite întrefierul.

Natural că problemele tehnico-științifice enumerate mai sus nu cuprind decît cîteva din spectrul larg de preocupări actuale, dar pe care le considerăm legate în mod prioritar de o justă fabricație a mașinilor electrice, care condiționează o bună strategie tehnico-economică în acest domeniu.

Pe măsura acumulării experienței și discutării în cercuri largi științifice a acestor probleme se va putea preciza un program cît mai corect de cercetări, care să stea la baza dezvoltării construcției și fabricației de micromașini electrice.

3. Dezvoltarea de micromotoare în Republica Socialistă România

Producția inițială de micromotoare în țara noastră s-a dezvoltat, ca și în cazul perioadei de pionierat a majorității fabricilor din străinătate, în cadrul unor întreprinderi de mașini electrice existente, care fabricau în principal alte sortimente, cum sînt întreprinderea Electrotehnica (conform tabelei 1), uzina Electromotor-Timișoara (conform tabelei 2) și uzina Electroprecizia-Săcele (numai pentru unele micromașini utilizate pe autovehicule).

Din aceste tabele rezultă că sortimentele produse cuprind micromotoare de uz general și special.

Producția de micromotoare la IIS Electrotehnica *Tabela 1*

Micromotoare	Tipul	Caracteristici tehnice	Utilizare
Asincrone	MTA-180	$P_u = 180$ W; $U = 3 \times 380/220$ V; $n = 1\,340$ rot/min	generală
	MTV-180/2	$P_u = 180$ W; $U = 3 \times 380$ V; $n = 1\,350$ rot/min	ventilatoare pentru transformatoare
	MTD-180/150	$P_u = 180$ W la $n = 3\,800$ rot/min și $P_u = 150$ W la $n = 1\,500$ rot/min $U = 3 \times 380$ V	generală
	MTG-180	$P_u = 180$ W; $n = 1\,500$ rot/min; $U = 3 \times 380$ V	mediu exploziv
Sincrone	MSM-375/3	$M_a = 100$ gfcm $n = 375$ rot/min $U = 220$ V; C = 0,5 μF cu turație constantă	acționări
Monofazate cu colector serie	MED-1 A	$P_u = 45$ W; $U = 220$ V; $n = 8\,000$ rot/min	electrodermatom
	SUM-1	$U = 220$ V; $P_u = 500$ W $n = 10\,000-15\,000$ rot/min	dispozitive MR-2 și MR-3 UEPG
	DRI	$U = 220$ V; $P_u = 250$ W; $n = 2\,500$ rot/min	întreruptor DRI-UEPG
Monofazate cu colector cu repulsie	MVR-40/3000	$P_u = 40$ W; $n = 3\,000$ rot/min; $U = 220$ V	heliografe H 3
Curent continuu	KU-6660	$P_u = 30$ W; $n = 4\,500$ rot/min $U = 24$ V	diverse acționări
	SUC-1	$P_u = 8$ W; $n = 3\,000$ rot/min $U = 24$ V	clapetă vagon călători

Producția de micromotoare de la uzina Electromotor Timișoara *Tabela 2*

Micromotoare	Tipul	Caracteristici tehnice	Utilizare
Monofazate cu colector serie	MG-1	$U = 220$ V; $P_u = 180$ W; $n_{ax} = 500$ rot/min	mașină de găurit electrică
	SE-1 SE-2	$U = 220$ V; $P_a = 450$ W; $n = 15\,000$ rot/min	acționare suflantă mînă
Monofazate cu poli ecranați	MS-6 MS-2 și MS-4 —	$U = 120$ V sau 220 V; $P_u = 150$ W; $n_s = 1\,500$ rot/min, funcționare intermitentă ($T_c = 10$ min, $D_A = 50$ %) $U = 120$ V sau 220 V; $P_a = 15$ W; $n = 9\,000$ rot/min	mașină de spălat rufe ventilator de masă tip VM-3, VM-4, VM-5, VM-6
Monofazate cu fază auxiliară capacitivă	AMC-1	$U = 120$ V sau 220 V; $P_a = 40$ W; $n_s = 3\,000$ rot/min	pentru mașină electrică de calculat.
	AMI-0,55	$U = 220$ V; $P_u = 550$ W; $n_s = 1\,500$ rot/min, funcționare intermitentă; ($T_c = 10$ min; $D_A = 40$ %)	pentru antrenare betonieră
De curent continuu	MD-1	$U = 144$ V; $P_u = 123$ W; $n = 1\,750$ rot/min	agregat W_{125} pentru LDE
	EM-2	$U = 100$ V; $P_u = 197$ W; $n = 800$ rot/min	acționare de macara
	VD-4 VD-3 și VD-2	$U = 170$ V; $P_a = 85$ W; $n = 2\,425$ rot/min	încălzit cabină LDE
	MB-1 și MB-2	$U = 24$ V; $P_a = 170$ W; $P_u = 95$ W; $n = 2\,200$ rot/min	semibarieră automată
	G-450—1	$U = 12$ V; $P_u = 450$ W; $n = 2\,500$ rot/min	generator pentru autovehicule

Tabela 3 a

Producția de micromotoare asincrone trifazate din aliaj ușor, de la FMEP

Puterea kW	Tipul	Curentul statornic la 220 V, A	Viteza de rotație, rot/min	Randament η (%)	Factor de putere, cos φ	Cuplul de pornire M_p/M_n	Curent de pornire, I_p/I_n	Cuplul maxim, M_{max}/M_n	Greutate aproximativă, kg
2 poli, 3 000 rot/min									
0,37	63Ls	1,75	2 760	68	0,81	1,8	4,5	2,1	6,5
0,55	63L	2,46	2 775	71	0,83	1,8	4,5	2,3	6,7
0,75	80Ls	3,27	2 810	76	0,84	2	5	2,4	9,5
1,1	80L	4,32	2 820	78	0,86	2	5,5	2,5	10
1,5	90S	5,58	2 840	80	0,87	2,2	5,5	2,6	13,5
2,2	90S	8,05	2 850	81,5	0,88	2,2	6	2,6	16,2
3	100L	10,8	2 860	83	0,89	2,4	6	2,6	24,3
4	112M	13,7	2 880	85	0,89	2,4	6,5	2,6	33
5,5	132Ss	18,7	2 900	86	0,90	2,4	6,5	2,6	44
7,5	132S	25,4	2 900	86	0,90	2,4	6,5	2,6	47
4 poli, 1 500 rot/min									
0,3	63Lr	1,7	1 360	65,5	0,72	1,6	4	1,9	6,3
0,37	63L	1,98	1 370	67,5	0,74	1,6	4	1,9	6,7
0,55	80Lr	2,68	1 390	71	0,76	1,7	4	2	9,5
0,75	80L	3,68	1 400	74	0,77	1,8	4	2,1	10
1,1	90S	4,77	1 410	76	0,79	1,9	5	2,2	13,5
1,5	90L	6,17	1 410	78,5	0,81	2,1	5	2,2	16,2
2,2	100Lr	8,73	1 420	81	0,82	2,1	5,5	2,3	23
3	100L	11,40	1 420	83	0,83	2,2	5,5	2,3	24,3
4	112M	14,90	1 430	84	0,84	2,3	6	2,5	33
5,5	132S	19,90	1 440	85,5	0,85	2,3	6	2,5	45,5
7,5	132M	26,70	1 440	86,5	0,85	2,3	6	2,5	52,9
6 poli, 1 000 rot/min									
0,37	80Ls	2,08	910	69	0,675	1,7	4	2,1	9,5
0,55	80L	3,02	910	70	0,685	1,7	4	2,1	10
0,75	90S	4,16	915	72	0,7	2	4	2,1	13,5
1,1	90L	5,42	920	74	0,72	2	4,5	2,2	16,2
1,5	100L	7,05	930	76	0,74	2	4,5	2,2	24,3
2,2	112M	9,6	940	79	0,76	2	4,5	2,2	33
3	132S	12,6	945	81	0,77	2	5	2,3	45,5
4	132Ms	16,4	950	82	0,78	2	5	2,3	49
5,5	132M	21,75	950	84	0,79	2	5	2,3	53
8 poli, 750 rot/min									
0,37	90S	2,65	670	61	0,6	1,4	3,5	1,9	13,5
0,55	90L	3,58	670	64	0,63	1,5	3,5	1,9	10
0,75	100Lr	4,3	685	67	0,66	1,6	3,5	2	23
1,1	100L	6,35	690	69	0,66	1,7	4	2	24,3
1,5	112M	8,05	695	72	0,68	1,7	4	2,1	33
2,2	132S	11	700	75	0,70	1,7	4	2,2	45,5
3	132M	14,1	705	78	0,70	1,7	4	2,2	53

Deoarece producția de micromotoare ridică probleme de producție specifice acestora, în 1967 a luat ființă, pe baza unei licențe parțiale a CEM (Franța), Fabrica de Motoare Electrice Pitești (FMEP) specializată în fabricația de astfel de motoare. Fabrica este concepută să aibă o capacitate anuală de producție de ordinul 550 mii unități de micromotoare de diverse tipuri (cu tendința de dublare într-o a doua etapă) și 250 mii unități de motoare asincrone trifazate, care merg pînă la 7,5 kW.

În faza inițială FMEP are în program micromotoarele indicate în tabelele 3 a și 3 b. Tipul reprezentativ pentru motoarele asincrone trifazate din tabela 3 a este indicat în figura 1, iar pentru celelalte micromotoare, în ultima coloană a tabelei 3 b.

În perspectiva imediată a FMEP stă elaborarea unei serii de motoare universale serie cu colector de la 10 W la 500 W și turații de la 3 000 rot/min la 20 000 rot/min, a unei serii de micromotoare monofazate cu faza auxiliară cu

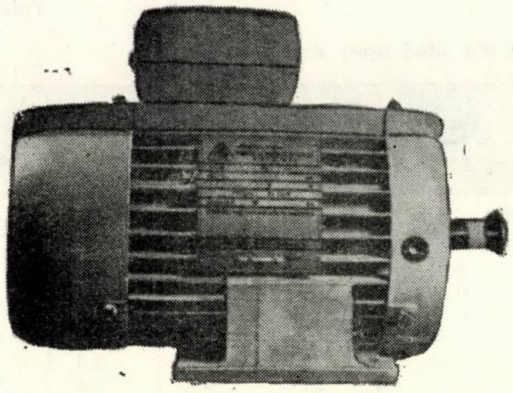


Fig. 1. Tipul reprezentativ pentru motoarele din tabela 3a.

condensator și a unei serii de micromotoare de curent continuu cu magneți permanenți. De asemenea, există preocupări de perspectivă de elaborare a unor motoare pentru automatizări și în primul rînd a unor micromotoare cu întrefier axial și circuite imprimate, de la cîțiva W la cîteva sute de W, cu concursul ICPE.

Datele privind motoarele universale serie cu colector sînt prezentate în tabela 4.

În scopul realizării celor menționate, FMEP a fost utilat cu o serie de instalații moderne, dintre care cîteva sînt prezentate în cele ce urmează.

Linia de impregnare a statoarelor motoarelor asincrone din aliaj ușor (fig. 2). Statoarele

Producția de micromotoare monofazate și de curent continuu, de la FMEP *Tabela 3 b*

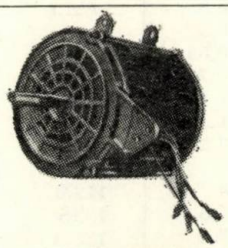
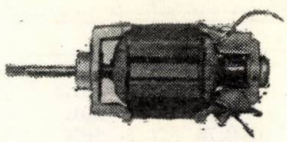
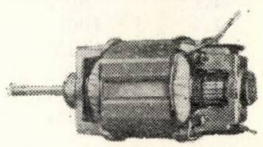
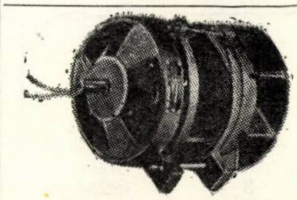
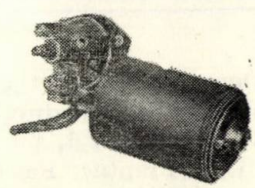
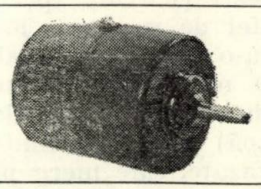
Tipul motorului	Caracteristici	Domeniu de utilizare	Figura
Motor monofazat cu 2 turații, cu fază auxiliară și condensator permanent, cu rotorul în scurtcircuit, tip MS-1	$U = 220$ V; $P_u = 210$ W/46 W; $P_a = 770$ W/280 W; 2 poli/12 poli; $n = 2\,800$ rot/min/420 rot/min; cl. E; protecție IP-11; $G = 10$ kg	pentru mașina de spălat rufe	
Motor monofazat serie cu colector tip U-33	$U = 120$ V sau 220 V; $P_u = 47$ W; $P_a = 100$ W; $n = 4\,000$ rot/min; cl. E; protecție IP-00; $g = 1$ kg.	se execută în 2 variante: fără semicapotă, destinat utilizării generale; — cu semicapotă, destinat pentru mașina de cusut	
Motor monofazat serie cu colector tip U-35	$U = 120$ V sau 220 V; $P_u = 230$ W; $P_a = 400$ W; $n = 16\,000$ rot/min; cl. E, $G = 1{,}3$ kg.	se execută în 2 variante: — cu ventilator, pentru utilizare generală; — fără ventilator, pentru aspiratorul de praf	
Motor monofazat cu poli ecranați și rotorul în scurtcircuit, tip MS-6	$U = 120$ V sau 220 V; $P_u = 100$ W; $P_a = 450$ W; $n_s = 1\,500$ rot/min; $M_p = 8$ kgf cm; cl.E.; regim intermitent; durata ciclului 6; protecție IP-00; $G = 6{,}9$ kg	pentru mașina de spălat rufe. Se poate realiza și în varianta cu 2 capete de ax, pentru acționarea pompei și centrifugei la mașina de spălat rufe. Prezintă varianta cu 2 capete de ax (MS-7)	
Motor de c.c. cu 2 turații	$U = 12$ V; $M_p = 120$ kgf cm; $M_n = 5$ kgf cm; $n = 45/65$ rot/min; cl.E; protecție IP-42; $G = 2$ kg	pentru ștergător parbriz autocamioane	
Motor de curent continuu	$U = 12$ V; $P_u = 38$ W; $n = 3\,600$ rot/min; cl. E; protecție IP-42; $G = 1$ kg	pentru antrenarea ventilatorului aerotermei la autocamioane	

Tabela 4

Seria de motoare monofazate serie cu colector

tip	D	L	D^2L	Puterea W, pentru turaţia de (rot/min)								
				3 000	4 000	5 000	6 000	8 000	10 000	12 000	16 000	20 000
U 21	60	18	64,8	10	12	16	20	25	32	40	50	63
U 22	60	24	86,3	12	16	20	25	32	40	50	63	80
U 23	60	32	108	16	20	25	32	40	50	63	80	100
U 24	60	40	144	20	25	32	40	50	63	80	100	125
U 32	70	24	117,5	20	25	32	40	50	63	80	100	125
U 33	70	30	147	25	32	40	50	63	80	100	125	160
U 34	70	40	192	32	40	50	63	80	100	125	160	200
U 35	70	50	245	40	50	63	80	100	125	160	200	250
U 43	80,5	32	207	40	50	63	80	100	125	160	200	250
U 44	80,5	40	260	50	63	80	100	125	160	200	250	320
U 45	80,5	60	325	63	80	100	125	160	200	250	320	400
U 46	80,5	60	390	80	100	125	160	200	250	320	400	500

bobinate sînt impregnate cu lac special (poliesteri), apoi sînt polimerizate şi transportate la posturile de montaj.

Instalaţia cuprinde o linie transportoare, o maşină de impregnare, un lanţ de scurgere, o maşină de polimerizare, un transportor, o întoarce tola şi alimentează a treia presă, o presă pentru ştanţarea crestăturilor statorului, o bandă de evacuare şi un elevator pentru evacuarea tolelor.

Maşină specială pentru prelucrare scuturi (*fig. 4*). Agregat circular cu un post de încărcare

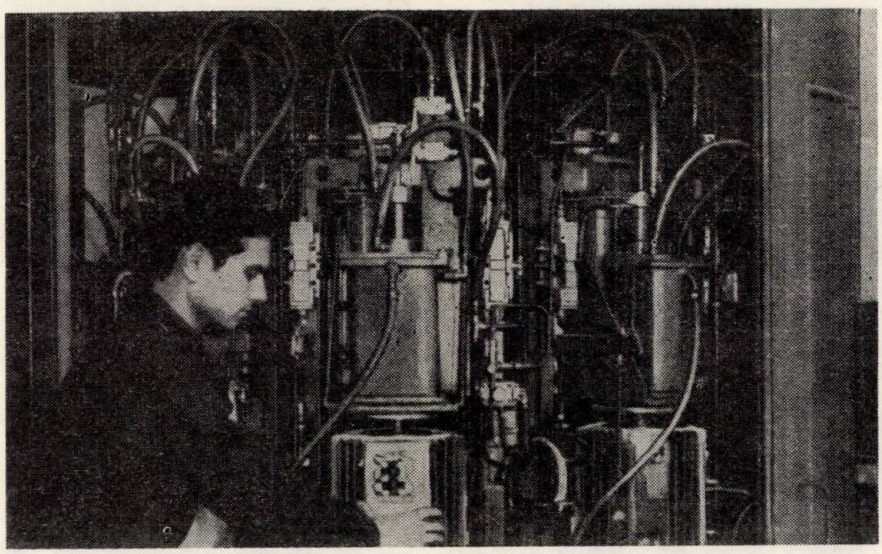


Fig. 2. Maşină pentru impregnarea statoarelor asincrone.

presă pentru demandrinare, o maşină de spălat mandrinele.

Ciclul de polimerizare durează 14 minute, din care cîte un minut încărcarea şi descărcarea şi 12 minute polimerizarea.

Linia de ştanţare tolă rotor şi stator pentru motorul asincron (fig. 3). Se compune din : o presă pentru ştanţare gaură-arbore şi crestătură tolă rotor, o bandă de evacuare, un elevator cu dispozitiv de întoarcere a tolei rotor şi alimentarea celei de a doua prese, o presă pentru separarea tolelor statorice de cele rotorice, o bandă de evacuare, un elevator ce şi descărcare şi 10 posturi de lucru care permit să se execute toate operaţiile necesare executării scuturilor motoarelor universale U-33 şi U-35.

Maşină pentru sudarea capetelor de bobină la colectoare pentru motoarele universale tip U-33 şi U-35 (*fig. 5*). Poate funcţiona manual şi automat. Cu un electrod de tungsten se sudează capetele secţiilor la lamelele de colector.

Maşină automată pentru impregnarea picătură cu picătură a rotoarelor motoarelor universale tip U-33 şi U-34 (*fig. 6*). Răşina epoxidică şi întăritorul său, amestecate în proporţii bine

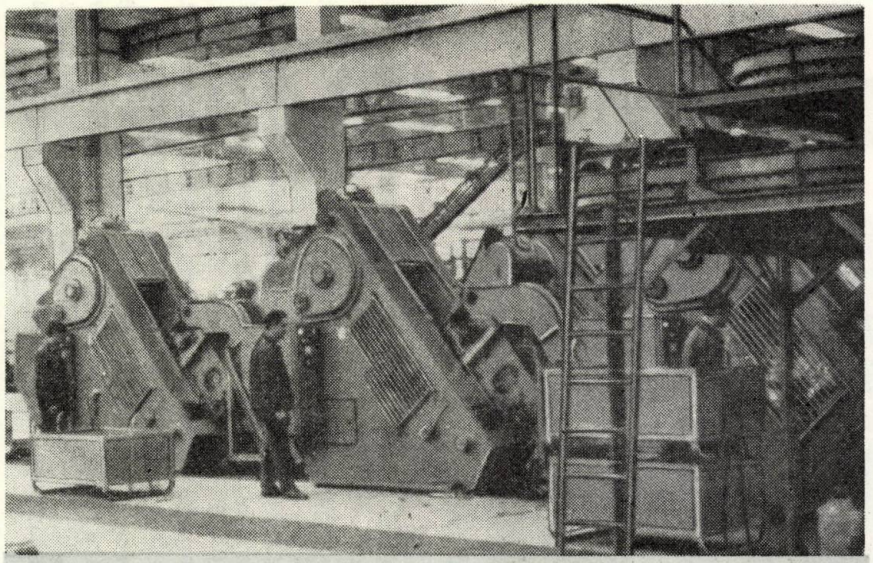


Fig. 3. Linie de stanțare tole.

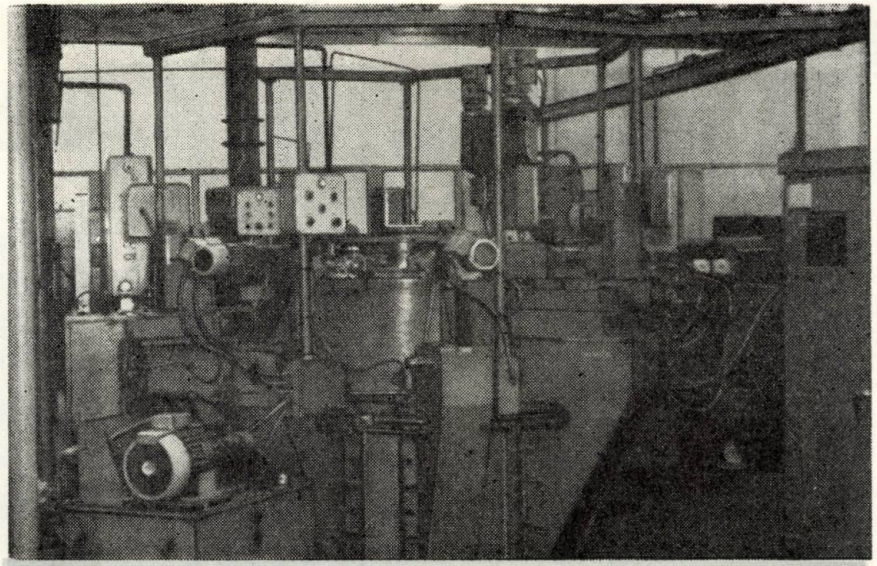


Fig. 4. Agregat pentru prelucrare scuturi.

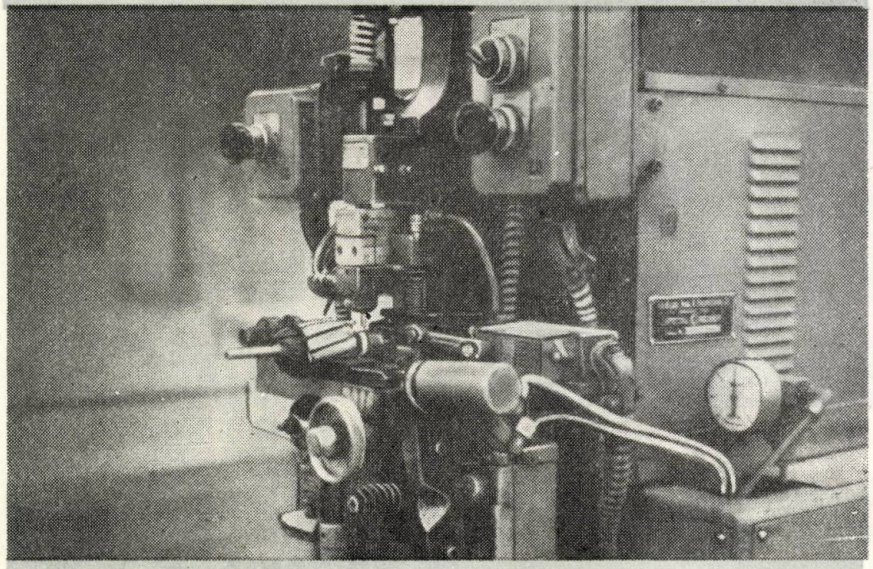


Fig. 5. Dispozitiv pentru sudarea capetelor de bobină la colectoare.

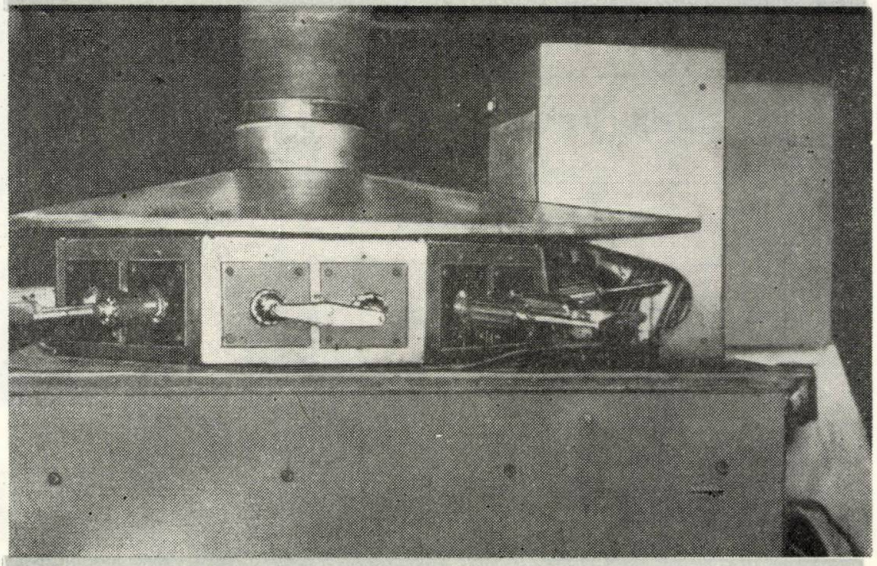


Fig. 6. Instalație pentru impregnarea prin picurare.

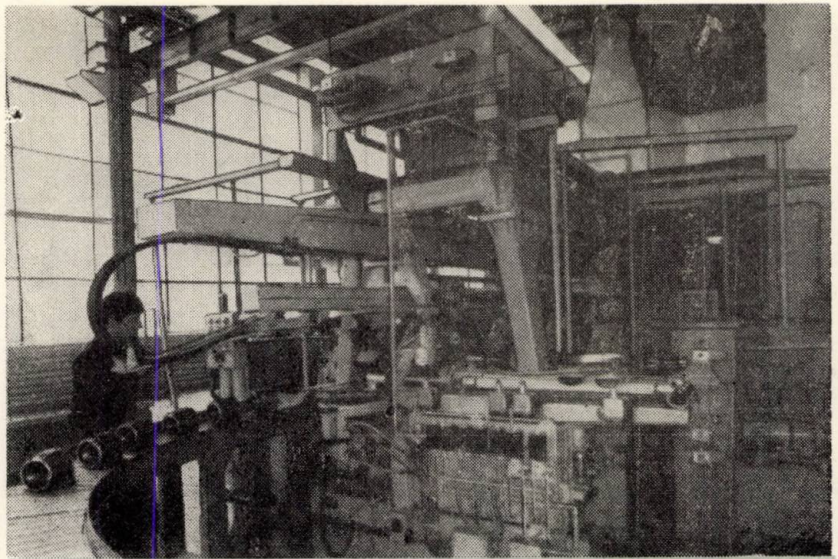


Fig. 7. Agregat pentru prelucrarea carcaselor motoarelor asincrone.

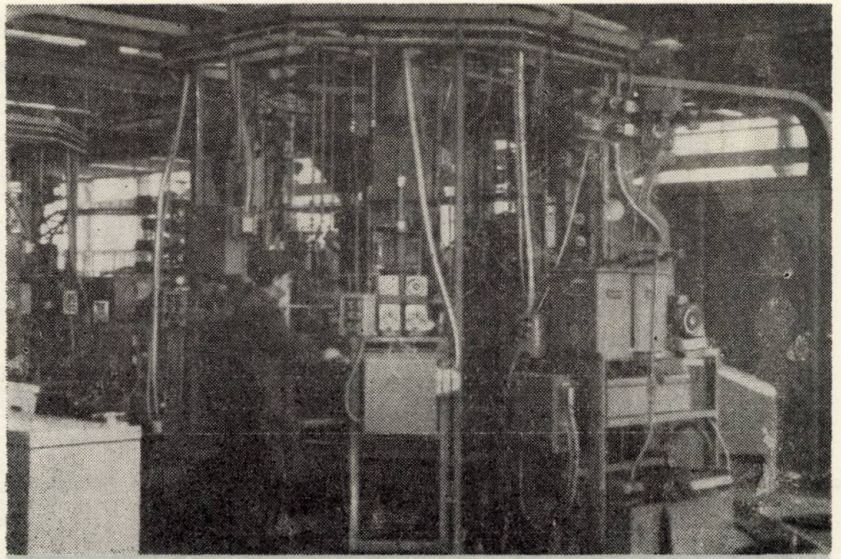


Fig. 8. Agregat pentru prelucrarea scuturilor pentru motoarele asincrone.

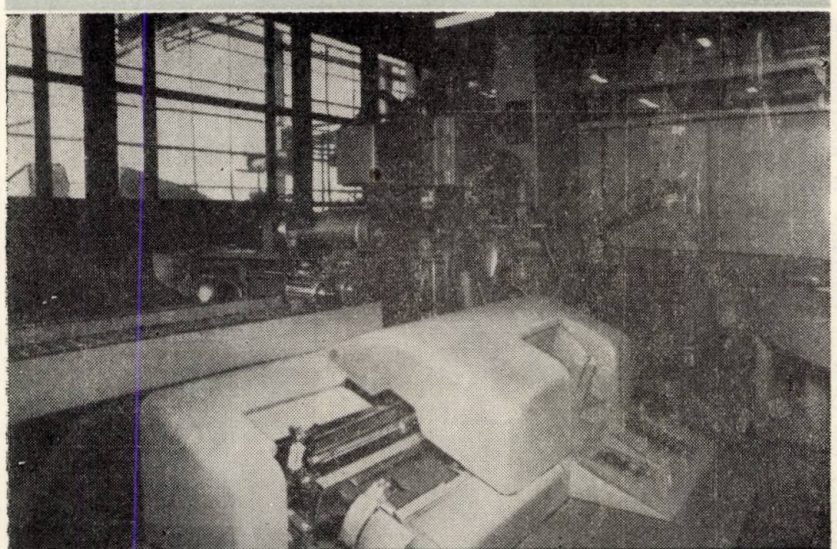


Fig. 9. Platforma de control automat al micromotoarelor asincrone.

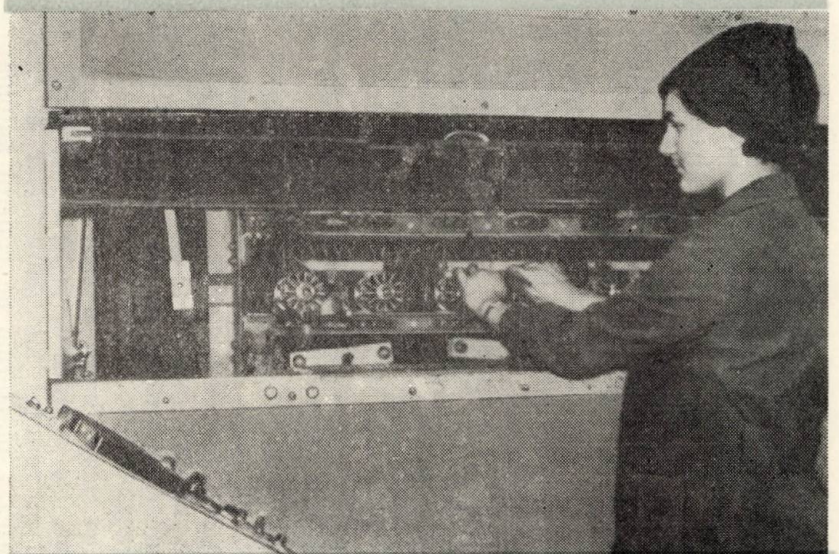


Fig. 10. Echipament de rodaj și încercare a motoarelor universale.

definite, se scurg picătură cu picătură prin duze fine pe capetele bobinelor rotoarelor ale căror înfășurări sînt încălzite progresiv de un curent electric. Vaporii produși sînt aspirați printr-un sistem de ventilare. Operația de impregnare este automată și nu necesită intervenția muncitorului decît pentru reglare, alimentarea cu rotoare și descărcare.

Mașină-transfer de prelucrare carcase (*fig. 7*). Mașina are șase posturi : alimentarea automată cu piese, broșarea alezajului stator, curățare și debavurare alezaj-stator, strunjire, eboșare și finisare, frezarea tălpilor pentru punerea în înălțime a axului, broșarea și debavurarea suprafeței de așezare a tălpilor și evacuarea carcaselor terminate. Comanda mașinii se face de la un pupitru principal și de la pupitre secundare plasate pe posturi.

Mașini pentru prelucrarea prin transfer a scuturilor normale și fețelor normale ale scuturilor cu flanșe pentru motoarele asincrone (*fig. 8*). Această mașină execută : alezaj locaș, prelucrare umăr, găurire gaură de ungere și prelucrare gaură arbore.

Mașina poate lucra manual semiautomat și automat. De asemenea, pentru încercările de control și rodajul micromotoarelor fabricate se utilizează platforma de control automat a motoarelor asincrone de aliaj ușor și echipamentul special de rodaj și încercare a motoarelor universale, descris în cele ce urmează.

Platforma de control automat a micromotoarelor asincrone (*fig. 9*). Micromotoarelor li se atașează o cartelă perforată, care se introduce într-un dispozitiv de citit BULL, care determină la trecerea motorului în platformă efectuarea ansamblului de încercări care asigură controlul motorului.

Platforma execută încercările complete în cadența de producție a acestor motoare și anume : rigiditatea dielectrică a bobinajului față de masă și între faze, încercări în gol, încercări în scurtcircuit, pornirea și încercarea la sarcină nominală.

Echipament special la rodaj și încercare a motoarelor universale tip U-33 și U-34 (*fig. 10*). În grup de opt, motoarele care se rodează, echipate cu turbine etalon sînt plasate cu ajutorul unui montaj cu strîngere rapidă pe o roată cu axul orizontal în formă de colivie de veveriță. Această colivie poate cuprinde 288 motoare, care sînt introduse progresiv în timpul unei revoluții complete a roții, aproximativ în 30 minute. La sfîrșitul fiecărei ture, opt motoare sînt rodate ; apoi sînt supuse, o parte — la controlul curentului absorbit și a vitezei în sarcină, cealaltă parte — încercărilor de rigiditate dielectrică.

Nivelul tehnic ridicat al producției în cadrul FMEP asigură premisele tehnice necesare, sub acest raport, prezentate la punctele : 2 și 3 din prezentul articol. Lărgirea continuă a sortimentelor în special cu tipuri de micromașini pentru automatizări, preluarea treptată a fabricației de la uzina Electromotor-Timișoara, introducerea în practică a unor cercetări întreprinse în cadrul Departamentului industriei electrotehnice asigură tot mai mult corelarea între cerințele generale și speciale ale economiei naționale și posibilitățile tehnico-științifice ale dinamicii noastre industrii electrotehnice.

Evoluţia seriei unitare de motoare asincrone normale

ALEXANDRU BERBERIANU* — Bucureşti

CZ 621.313.333.3:621.312

Pe baza indicaţiilor cuprinse în documentele de Partid şi de Stat privind direcţiile de dezvoltare a economiei naţionale, toate produsele care figurau în programul de fabricaţie al uzinelor de maşini electrice au fost reconsiderate prin proiectarea lor la un nivel de performanţe internaţionale, accentul punîndu-se în special pe motoarele asincrone, deoarece ele au ponderea cea mai mare atît în fabricaţie cît şi în exploatare.

1. Bazele proiectării

Din punct de vedere al proiectării şi realizării lor practice se poate spune că elementele esenţiale care au determinat evoluţia motoarelor asincrone, au fost fundamentarea din punct de vedere constructiv şi tehnologic a conceptului de serie unitară şi utilizarea unor materiale active şi electroizolante cu proprietăţi superioare. Prima condiţie a asigurat obţinerea unor produse de înalt nivel tehnic şi în acelaşi timp a pus de acord fabricaţia de motoare asincrone din toate ţările socialiste, cu recomandările Comitetului Electrotehnic Internaţional. Acesta a elaborat recomandări privind unificarea scărilor de puteri şi dimensiunilor de montaj (Publicaţia 72 a CEI). Prin aceste recomandări nu era însă stabilită legătura între dimensiunile de montaj şi puterile motoarelor, ea fiind lăsată la dispoziţia constructorilor de maşini electrice. În cadrul Comisiei de Ajutor Economic Reciproc (CAER), problema seriilor de motoare asincrone a fost examinată în comun de toate ţările lagărului socialist, hotărîndu-se legarea puterilor de gabarite, cu fixarea scării de puteri la nivel egal sau superior standardelor recente ale ţărilor cu o industrie electrotehnică puternic dezvoltată, adică ducîndu—se la bun sfîrşit ideea de normalizare pe care CEI a fost silit să o părăsească din cauza contradicţiilor dintre firmele capitaliste

Pentru a permite o activitate coordonată în proiectarea seriei unitare s-a realizat de la început atît o temă de proiectare completă cît şi o metodică unitară de calcul

Tema de proiectare elaborată în 1958, la începerea lucrărilor, prevede atît elementele deja fixate pe linie de CAER cît şi parametrii principali în condiţiile specifice ţării noastre

Pentru seria unitară a ţării noastre, criteriul de alegere a parametrilor energetici a fost stabilirea valorii lor la un astfel de nivel, încît pe de o parte, să fie comparabilă cu valorile firmelor occidentale care reprezintă concurenţa pe piaţa internaţională, lărgind deci posibilitatea de export, iar pe de altă parte să facă posibile construcţii cu un consum de materiale redus

În ceea ce priveşte caracteristicile de pornire, au fost alese valori mai ridicate pentru cupluri, motivarea fiind dată de faptul că reţelele de joasă tensiune nu permit totdeauna pornirea directă a motoarelor

Alegerea clasei de izolaţie a făcut obiectul unor studii speciale, a căror concluzie a fost că cea mai potrivită este clasa E Într-adevăr, folosirea clasei B, nu pare indicată : din punct de vedere termic, diferenţa de încălzire admisă de cele două clase este minimală (75° la clasa E şi 80° la clasa B), în timp ce diferenţa de cost a izolaţiei de crestătură se triplează din cauza folosirii la clasa B a izolaţiilor pe bază de mică

În metodica unitară de proiectare au fost cuprinse, în afară de relaţiile clasice de calcul, şi unele soluţii particulare, întrucît literatura de specialitate, bogată în ceea ce priveşte metodica de calcul a unui motor asincron, este complet lipsită de indicaţii asupra modului de lucru în cadrul unei serii

Baza de plecare pentru dimensionarea seriei a constituit-o stabilirea diametrului exterior al tolelor, ales într-o raţie aproximativ constantă, în funcţie de înălţimea axei motorului. Mai departe s-au stabilit diametrele interioare şi legea de variaţie a lungimilor pachetelor de tole la trecerea de la o putere la alta. În această etapă determinarea lungimilor de pachet s-a făcut pe baza unei constante de dimensionare :

$$C = \frac{M^{0,8}}{D_e^2 \cdot L},$$

în care D_e este diametrul exterior al pachetului ; M — cuplul nominal şi L — lungimea pachetului. Valoarea constantei C a fost determinată prin calcule de control, arătîndu-se ulterior că abaterile valorilor definitive faţă de media lor nu depăşesc $\pm 4\%$.

În felul acesta s-a obţinut o similitudine remarcabilă între toate maşinile de serie, ceea ce a permis o încărcare electromagnetică optimă şi constantă a lor şi prin urmare, în final, rezultatele corespunzătoare la platforma de încercări, respectiv omologarea complectă în serii în anul 1960.

---

* *A. Berberianu* este inginer proiectant principal la U.M.E.B.

Tabela 1

		seria RSR 1960				seria „Piața Comună"				seria RSR 1969				seria de perspectivă			
		2p=2	2p=4	2p=6	2p=8	2p=2	2p=4	2p=6	2p=8	2p=2	2p=4	2p=6	2p=8	2p=2	2p=4	2p=6	2p=8
56						0,09-0,12	0,06-0,09	—	—	0,09-0,12	0,06-0,09	—	—	0,18-0,25	0,12-0,18	—	—
63						0,18-0,25	0,12-0,18	—	—	0,18-0,25 0,37-0,55	0,12-0,18 0,25-0,37	—	—	0,37-0,55	0,25-0,37	0,18-0,25	—
71						0,37-0,55	0,25-0,37	0,18-0,25	0,09-0,12					0,75-1,1	0,55-0,75	0,37-0,55	0,25
80		0,6	0,6	—	—	0,75-1,1	0,55-0,75	0,37-0,55	0,18-0,25	0,75-1,1	0,55-0,75	0,37-0,55	0,18-0,25	1,5-2,2	1,1-1,5	0,75-1,1	0,37-0,55
90	S	0,8	0,8	—	—	1,5	1,1	0,75	0,37	1,5	1,1	0,75	0,37				
	L	1,1	1,1	—	—	2,2	1,5	1,1	0,55	2,2	1,5	1,1	0,55	3	2,2	1,5	0,75-1,1
100	S	1,5	1,5	0,8	—									4	3	—	—
	L	2,2	2,2	1,1	—	3	2,2-3	1,5	0,75-1,1	3	2,2-3	1,5	0,75-1,1	5,5	4	2,2	1,5
112	S	3	3	1,5	1,1												
	M	4	4	2,2	1,5	4	4	2,2	1,5	4	4	2,2	1,5	7,5	5,5	3-4	2,2-3
132	S	5,5	5,5	3	2,2	5,5-7,5	5,5	3	2,2	5,5-7,5	5,5	3	2,2	—	7,5	5,5	4
	M	7,5	7,5	4	3	—	7,5	4-5,5	3		7,5	4-5,5	3	11	11	7,5	5,5
160	S	10	10	5,5	4									15	15	11	7,5
	M	13	13	7,5	5,5	11-15	11	7,5	4-5,5	11-15	11	7,5	4-5,5	18,5	18,5	15	11
	L					18,5	15	11	7,5	18,5	15	11	7,5				
180	S	—	—	10	7,5									22	22	—	—
	M	17	17	13	10	22	18,5	—	—	22	18,5	—	—	30	30	18,5	15
	L					—	22	15	11	—	22	15	11				
200	S	22	22	17	13												
	M	30	30	22	17					30	30	18,5-22	1,5	37	37	22	18,5
	L					30-37	30	18,5-22	15	(30)-37	(30)	(18,5-22)	(15)	45	45	30	22
225	S					—	37	—	18,5	—	37	—	18,5				
	M					45	45	30	22	45	45	30	22	55	55	37	30
250	S	40	40	30	22									75	75	45	37
	M	55	55	40	30	55	55	37	30	55	55	(37)-40	30	90	90	55	45
280	S	75	75	55	40	75	75	45	37	75	75	(45)-55	(37)-40	110	110	75	55
	M	100	100	75	55	90	90	55	45	90	90	(55)-75	(45)-55	132	132	90	75
315	S	125	125	100	75	110	110	75	55	110	110	(75)-90	(55)-75	160	160	110	90
	M	160	160	125	100	132	132	90	75	132	132	(90)-110	(75)-90	200	200	132	110

2. Seria unitară în fabricaţie din 1960

Coordonarea puterilor cu gabaritele de montaj este cea cunoscută din STAS 2755—60 şi în ceea ce priveşte motoarele închise în protecţie LP 44 cu rotorul în scurtcircuit, cele mai răspîndite şi asupra cărora vom insista, au fost prezentate, în primele coloane ale tabelei 1. Puterile alese atît în şirul CEI preferenţial cît şi din cel de rezervă, aşa fel încît să prezinte o raţie aproximativ constantă de 1,32, sînt repartizate pe cîte două lungimi la fiecare gabarit, neutilizat rămînînd practic numai două pachete scurte la gabaritul de 180, ceea ce dă o imagine asupra bunei utilizări a construcţiilor mecanice.

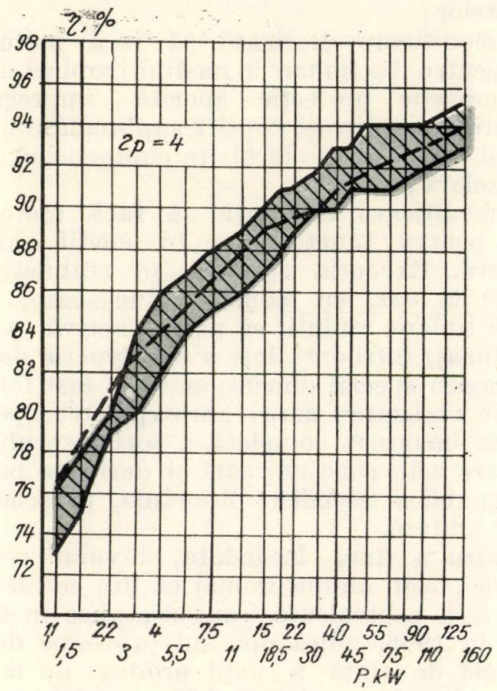


Fig. 1

Gabaritele nefolosite au fost haşurate în tabelă; în dreptul pachetelor nefolosite s-a tras o linie.

Performanţele electrice obţinute se încadrează perfect în limitele plajei pe care o reprezintă valorile scoase din cataloagele firmelor vestice de mare circulaţie universală. (CEM, Leroy, Siemens, AEG, Schorch, ELIN, Pellizzari, AEI şi ASEA cît şi din cele ale seriilor ţărilor socialiste, aşa cum se vede în figurile 1 şi 2, unde s-au figurat punctat valorile randamentelor şi factorilor de putere pentru maşinile la 4 poli.

În aprecierea curbelor trebuie să observăm pe de o parte, că punctele limitînd plaja sînt valori maxime şi minime, în timp ce curba seriei R.S.R. cuprinde practic valorile randamentului, respectiv factorului de putere obţinute prin ponderea cifrelor tuturor cataloagelor, şi pe de altă parte că, spre diferenţă de cataloagele străine, care au aproape totdeauna un grad de înfrumuseţare, valorile seriei R.S.R. sînt garantate fiind standard şi în consecinţă

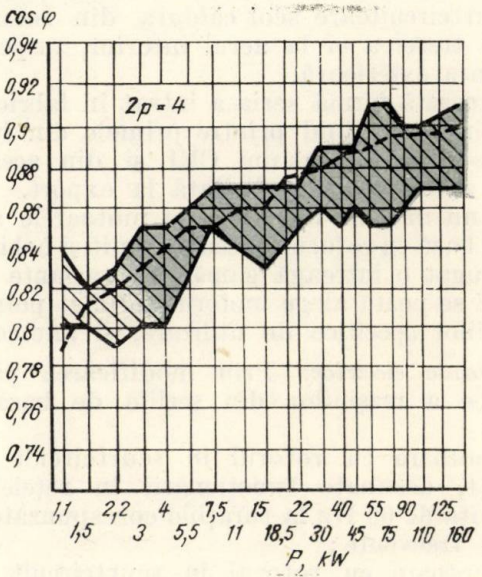


Fig. 2

adeseori mai mari, niciodată inferioare. La rîndul lor, greutăţile specifice, vizibile în figura 3 pentru aceleaşi maşini, se găsesc de asemenea în zona normală; trebuie să observăm însă că, în special la puterile mici, ele se situează în partea maximă a plajei, sau chiar o depăşesc, indicînd o folosire necorespunzătoare a gabaritului.

Din punct de vedere constructiv, soluţia adoptată a fost cea uzuală cu carcasă nervurată suflată de un ventilator exterior protejat de o capotă de tablă. La gabaritele mari a fost necesară şi o circulare interioară a aerului

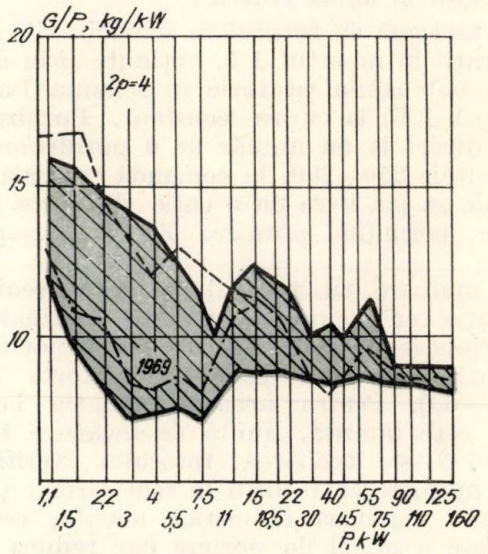


Fig. 3

necesitată mai mult de răcirea rotoarelor maşinilor cu rotor bobinat, în timp ce la motoarele cu rotorul în scurtcircuit o serie de palete turnate din aluminiu o dată cu barele şi inelul de scurtcircuitoare scot căldura din rotor şi permit trecerea ei la aerul interior, respectiv suprafaţa exterioară.

În această formă seria a intrat în fabricaţie încă din 1960, fiind printre primele din lume elaborate în dimensiuni CEI şi din această cauză a fost foarte solicitată la export.

În anii imediat următori, la motoarele seriilor de bază cu rotorul în scurtcircuit şi bobinat, s-a adugat o întreagă gamă de variante din care să se poată alege motorul cel mai potrivit condiţiilor specifice de utilizare, şi anume :

Variante electrice. Prin modificarea părţii electrice a maşinilor din seriile de bază se obţin :

— motoare cu rotorul în scurtcircuit sau bobinat, destinate funcţionării în reţele cu frecvenţa de 60 Hz la turaţiile corespunzătoare acestei frecvenţe ;

— motoare cu rotorul în scurtcircuit sau bobinat destinate să funcţioneze în medii avînd temperatura de maximum 60°C şi calculate în consecinţă la putere redusă ;

— motoare cu rotorul în scurtcircuit avînd un cuplu de pornire mărit faţă de cel al motoarelor seriei de bază, la aceeaşi valoare a curentului de pornire dar cu o uşoară reducere a factorului de putere ;

— motoare cu rotorul în scurtcircuit, avînd un cuplu de pornire foarte mare, la aceeaşi valoare a curentului de pornire şi cu reducerea factorului de putere corespunzătoare execuţiei rotorului în dublă colivie ;

— motoare cu rotorul în scurtcircuit, avînd 2 turaţii în raportul 1/2, obţinute prin conectarea bobinajului statoric în schema Dahlander ((Δ/YY) la cupru constant. Pornirea se face direct la un număr de 6 porniri/oră. La gabaritele 250—280, la comandă specială, motoarele se pot livra cu o cutie de borne cu 12 borne, permiţînd pornirea Y/YY şi respectiv Y/Δ ;

— motoare cu rotorul în scurtcircuit, în execuţie cu siguranţă mărită, destinate să funcţioneze în medii care accidental pot deveni explozive (grupa de gaze G3 conform STAS 6789—63). Pentru aceasta, izolaţia bobinajului este întărită, limita de încălzire redusă cu 10°C şi încălzirea rotorului verificată ;

— motoare cu rotorul în scurtcircuit şi alunecarea nominală şi critică mărită, ceea ce măreşte şi cuplul de pornire dar reduce puterea conducînd la funcţionare interminentă cu DA = 25% în cicluri de 10 minute, deci 6 porniri/oră.

Variante de mediu. Pentru a face faţă la cerinţele speciale ale mediului înconjurător, se execută altă grupă de variante, arătate în continuare :

— modificare destinată să facă motoarele apte pentru funcţionare într-un mediu unde umezeala este de maximum 98% la 35°C. Ea prevede impregnare, acoperiri metalice şi vopsiri suplimentare ;

— modificare destinată să facă motoarele apte pentru funcţionare într-un mediu cu praf abundent, neexplozibil, prin prevederea unei protecţii sporite (IP 54) ;

— modificare destinată să facă motoarele apte să funcţioneze în mediul tropical umed. Ea constă din protecţia sporită şi impregnare, acoperiri metalice şi vopsiri suplimentare, inclusiv tratament împotriva microorganismelor şi termitelor ;

— modificare destinată să facă motoarele apte pentru fucţionare în mediul tropical uscat. Ea prevede protecţie sporită , impregnare, acoperiri metalice şi vopsiri suplimentare, precum şi o rezervă de încălzire compensînd radiaţia solară ;

— modificare destinată să facă motoarele apte pentru funcţionarea în medii chimice agresive. Execuţia specială se stabileşte de la caz la caz, cu uzina producătoare.

Mai trebuie amintit că partea activă (pachet şi bobinaj) introdusă într-o construcţie de oţel cu praguri special dimensionate, a fost folosită pentru realizarea seriei antiexplosive, pentru a avea imaginea completă a sortimentului de motoare asincrone normale şi derivate produs în Republica Socialistă România, pe scheletul seriei unitare.

Pentru a fixa, încăodată, nivelul general al seriei, vom aminti numai că din catalaogele unor serii echivalente franceze, puse în fabricaţie în 1966, adică opt ani (aproape durata normală de viaţă a unui produs) de la stabilirea bazelor seriei R.S.R. rezultă performanţe similare pentru motoarele gabaritelor mari. În schimb, în plaja inferioară a gabaritelor, unde din cauza coordonării adoptate încă de la început seria noastră era apreciată ca mai slabă, firmele occidentale ne oferă după acest interval motoare cu exploatare superioară a materialului activ.

3. Actualizarea seriei

Această rămînere în urmă, paralel cu unele considerente comerciale, a constituit în 1966 justificarea unei reconsiderări a seriei.

Într-adevăr, în urma conferinţe de la Copenhaga din 1962, ţările europene formînd Piaţa-Comună au căzut de acord să îşi uniformizeze normele pentru coordonarea puterilor cu gabaritele CEI, lucru la care s-a ajuns destul de rapid, standardele naţionale modificate în acest sens apărînd în 1964. La aceasta s-au raliat şi restul ţărilor vestice, realizînd astfel, paralel cu corelarea CAER—Est, o corelare unitară

Vest. Această corelare este figurată în cea de a doua grupă de patru coloane ale tabelei 1. Se vede cum puterile — cu excepția valorilor de 3 și 4 kW — fac toate parte din seria preferențială CEI, care amintim că a fost aleasă ca să corespundă unor numere întregi semnificative în cai putere. Rația de creștere este însă mult mai puțin uniformă, iar folosirea gabaritelor mult mai slabă : sînt patru gabarite la care se folosește numai cîte o lungime și chiar în cadrul gabaritelor folosite, la 180 și 225 rămîn cinci pachete neutilizate.

În ceea ce privește puterile corelate gabaritelor, ele sînt net superioare seriei R.S.R. de care s-a vorbit în gabaritele pînă la 100, inferioare în gabaritul 200 și echivalente în celelalte, cu observația că scara de 30—37—45—55 kW adoptată duce automat, la turațiile mici, la corelarea unei puteri inferioare față de această serie, ajungînd pînă la o treaptă. În această situație relațiile noastre comerciale internaționale au prezentat deodată dificultăți serioase, axate pe două motive :

— la gabaritele mici, motoarele oferite de noi erau mai mari ca gabarit față de motoarele standardizate în țările respective ;

— acolo unde motoarele corespundeau ca putere sau chiar aveau puteri mai mari, plusul de putere nu putea fi exploatat și diferențele nesemnificative la diametrul capului liber de arbore făceau mașinile greu de vîndut.

Cum seria ajunsese deja în al optulea an, o revizuire era bine venită și s-a procedat la o reproiectare rapidă care să permită :

— echivalarea integrală a dimensiunilor de montaj, inclusiv capul de arbore, cu cele ale standardelor adoptate unanim în țările vestice ;

— livrarea în aceste gabarite a cel puțin puterii prevăzute de aceleași standarde.

Dacă la gabaritele pînă la 132 era clar că trebuie intervenit în sensul adoptării coordonării Vest, peste acest nivel soluția ridica o serie de probleme în special în ceea ce privește scara de puteri și coordonarea puterilor cu dimensiunile de montaj.

În lucrările noastre anterioare noi am considerat secvența 30—40—55 kW ca fiind mai favorabilă decît cea din scara preferențială CEI, care la dezavantajul unei rații neuniforme și a unui gabarit în plus — cu consecința pierderii unei trepte de putere la turațiile mici, așa cum am spus — nu opune decît avantajul unei valori întregi echivalente în cai putere. Luînd în considerare atît argumentele tehnice cît și cele comerciale, s-a adoptat soluția combinată de a folosi în scara de bază valorile 37 și 45 kW la 3 000 și 1 500 rot/min, acolo unde corelarea, conform acestor valori, ducea la putere sporită în același gabarit și unde exista majoritatea cererilor la export, și de a menține scara 30—40—55 kW, cu posibilitatea livrării unor mașini speciale de 37 și 45 kW, la 1 000 și 750 rot/min, unde în acest fel s-a realizat dublul obiectiv de a păstra nivelul de putere, respectiv de exploatare a gabaritului, deja atins, și în același timp s-a lăsat liberă posibilitatea livrării pentru export a unor puteri inferioare.

Aspectul general al coordonării 1969, concretizează într-o ediție nouă a standardului de puteri și gabarite pentru motoarele asincrone normale și în seria modificată intrată în fabricație în 1968/1969, este cel al grupei a treia de coloane din tabela 1.

Este evident, că, față de situația de fapt, realizarea acestor cerințe a determinat luarea a două măsuri total diferite :

— pentru gabaritele pînă la 132 inclusiv, a fost necesară o reproiectare completă, cu care ocazie s-au diferențiat o serie de mașini în carcasă de fontă și una cu carcasă de aluminiu, natural, cu geometria tolei diferită, funcție de condițiile specifice de răcire ale fiecărei soluții ;

— pentru gabaritele mari, afară de unificarea amintită a capului liber de arbore, s-au adaptat puterile la noua scară ; acolo unde standardul prevede două puteri, s-a considerat livrare normală puterea mai mare, puterea redusă, specifică standardelor vestice, executîndu-se numai pentru export. Se poate constata de altfel ușor că aceasta nu implică deobicei decît foarte mici modificări : în general fiind vorba de o treaptă, se presează pur și simplu în carcasa medie, pachetul corespunzător normal celei scurte iar pentru 37 și 40 kW s-a păstrat același pachet, diferind numai bobinajul pentru a se obține performanțe optime (în special curent de pornire) la puterea redusă.

Un aspect special prezintă gabaritul 200 la care aproape aceleași puteri — dacă nu mai mari — erau obținute în prima noastră coordonare în lungime medie, în timp ce coordonarea Vest le subordona lungimii mari. S-a apreciat că o soluție practică ar fi folosirea unei carcase unice de lungime medie, în care găurile de fixare din tălpi să poată fi date la distanța medie pentru producția internă și la distanța lungă pentru a satisface condiția de export Vest.

Modificările aduse serie nefiind la gabaritele mari decît adaptări ale unor tole cu geometrie existentă, greutățile specifice totale ale mașinilor ca și consumurile specifice de fier și cupru nu au suferit decît modificări de detaliu.

În schimb, reproiectarea gabaritelor mici pentru construcția în aluminiu, ca și, de altfel, ridicarea simțitoare a puterilor în gabaritele construcției de fontă, au dus al reduceri importante ale greutăților ; pentru soluția în aluminiu aceste reduceri sînt notate cu linie punct tot pe figura 3, în care acum linia greutăților specifice realizate se încadrează perfect și în limita inferioară a plajei internaționale.

4. Lucrări de perspectivă

După cum am arătat, cu excepţia gabaritelor mici la soluţia în aluminiu, unde tola a fost complet reconsiderată, coordonarea seriei 1969 s-a făcut cu menţinerea geometriei tolelor, din motive de uşurinţă şi economicitate a fabricaţiei.

Ori, în perioada ce a trecut de la asimilarea seriei, o gamă întreagă de experimentări efectuate ca şi numeroase posibilităţi noi apărute permit examinarea de la un alt nivel a rezultatelor obţinute. Vom aminti aici numai experimentările reuşite, în legătură cu reducerea pierderilor suplimentare în sarcină, progresele tehnologice realizate în turnarea coliviei rotorice — avînd ca efect reducerea pierderilor în rotor — precum şi diferite lucrări legate de ameliorarea ventilaţiei motoarelor, toate acestea avînd ca efect reducerea încălzirii.

Pe de altă parte, dotarea uzinelor cu calculatoare electronice, chiar de mici dimensiuni, a permis atît efctuarea unor variante de calcul într-un număr care nu putea fi conceput la calculul manual cît şi elaborarea unor programe de optimizare care să ducă către soluţia cea mai bună, tehnic şi economic.

În sfîrşit, introducerea în fabricaţie în această perioadă a tablei laminată la rece, cu reducerile spectaculoase de materiale active ce rezultă din aceasta, trebuie de asemenea numărată printre elementele care ne fac să ne gîndim în continuare la ameliorarea seriei de motoare asincrone normale.

În această ordine de idei, considerînd că de fiecare dată este necesară revizuirea geometriei tolei, s-a procedat pe trei linii de acţiune.

Ameliorarea seriei la coordonarea actuală, folosind tola laminată la cald. Aceasta este fără îndoială primul obiectiv şi el este deja în curs de realizare prin înlocuirea tolelor folosite în seria iniţială cu unele a căror geometrie determinată prin calcul cu maşini electronice şi ţinînd seamă de experienţa de fabricaţie de pînă acum despre care s-a amintit, permite în general reduceri de material activ determinate pe bază de prototipuri de sondaj la circa 6% pentru fier şi 9% pentru cupru.

Introduse în fabricaţie pe măsura uzurii sculelor existente şi în funcţie de economiile preconizate, care în unele cazuri ating 10% la fier, respectiv 15% la cupru, noile motoare le vor înlocui pe cele vechi la aceleaşi performanţe, cu o oarecare reducere a greutăţii totale şi a manoperei, ultima datorită uşurării umplerii gabaritului cu material activ.

Ameliorarea seriei la coordonarea actuală, folosind tola laminată la rece. Cataloagele recente ale unor firme din Vest prezintă faţă de ediţiile anterioare particularitatea că la unele motoare, de obicei cele la 1 500 rot/min (cele mai răspîndite, deşi cotele de gabarit sînt neschimbate), intervine o diferenţă apreciabilă de greutate, care după noi nu poate fi justificată decît prin reducerea echivalentă a pachetului de tole. Mai mult, verificările efectuate pe antecalcule ne-au confirmat că înlocuirea tablei laminate la cald folosită pînă în prezent, cu tablă laminată la rece, duce la reduceri de pachet de tole care verifică cifrele avansate.

Într-adevăr, la aceleaşi pierderi specifice, lăsînd la o parte avantajele tehnologice ale tablei laminate la rece şi plusul de fier pe care ni-l dă în acelaşi spaţiu factorul de umplere superior pe care-l permite, magnetizarea ei net superioară deschide perspective deosebite de reducere a fierului activ. Pentru a nu da decît un exemplu, vom aminti numai că dacă la 20 Asp/cm la o tolă obişnuită corespund circa 14 200 Gs, folosirea tolei laminată la rece permite ridicarea acestei inducţii la 16 000 Gs, cifrele sintetizînd în acelaşi timp inducţiile cu care practic se poate calcula în dinţi în cele două ipoteze, la un acelaşi curent de magnetizare.

Un rezultat echivalent se poate obţine şi cu o tolă specială, fără siliciu, de tip Jalox, elaborată de asemenea în laminoarele moderne; folosirea ei presupunînd însă o operaţie de recoacere după ştanţare, cu dificultăţile pe care această tehnologie le presupune, am socotit că deocamdată nu este cazul să se examineze şi această variantă.

Dezavantajul pe care însă îl prezintă folosirea tablei laminate la rece este dat de faptul că, presupune, în prezent importul integral de tablă silicioasă şi că introducerea ei este de asemenea legată de un set nou de scule pentru tole, geometria tolei fiind evident diferită pentru cele două table. Cum sînsă economiile reprezintă 20% din cantităţile folosite astăzi la fier şi cupru, cum ultimul material este în realitate tot un material de import, ţinînd seama şi de reducerea de materiale izolante corespunzătoare scurtării pachetului noi apreciem şi această variantă ca foarte utilă, o largă gamă de prototipuri fiind deja în fabricaţie în vederea determinării exacte a economiilor şi a justificării calculului tehnico-economic.

Seria viitoare de motoare asincrone normale. Dacă la cele două îmbunătăţiri examinate mai înainte se foloseau atît dimensiunile de montaj cît şi construcţiile mecanice din 1969 — care în majoritate sînt şi cele din 1960 — nu este mai puţin adevărat că reducerea continuă a materialului activ ridică şi problema inversă, a majorării puterii ce se poate obţine dintr-un gabarit dat. Pe această linie, atîta vreme cît lucrările internaţionale de standardizare sînt în curs se pare că trecerea la o realizare practică prezintă riscul investirii unor costuri într-o serie de motoare, dar care, la definitivarea lucrărilor CEI, să prezinte abateri de la acestea.

Nu este mai puțin adevărat că pentru a participa în mod eficace și cu răspundere la aceste recomandări internaționale, țara noastră trebuie să fie în posesia rezultatelor încercărilor, unor mașini executate la un nivel tehnic care să fie actual în 1973—1975, cînd se scontează că se vor termina lucrările CEI.

Ca urmare s-a elaborat, de acord și cu restul țărilor CAER, coordonarea puterilor cu gabaritele corespunzătoare așa cum rezultă în ultimele coloane ale tabelei 1, care presupune introducerea unor tole de tablă laminată la rece și diametrul exterior maxim posibil în gabaritele de montaj deja fixate de CEI. Dintre aceste mașini s-au și executat, cu bune rezultate, prototipurile gabaritelor 132 și 280 și sînt în curs de execuție cele ale gabaritelor 160—180—200—225.

Pentru gabaritele inferioare, încerările de sondaj fac să se confirme ideea că la construcția recentă în aluminiu înlocuirea tolei normale cu tolă laminată la rece ar fi suficientă pentru ridicarea puterii cu o treaptă.

În momentul de față și în lipsa unor alte informații care să ne modifice punctul de vedere, nu socotim util a merge mai departe în această privință, întrucît coordonarea ce ne-am propus este posibilă, ba chiar probabil, să sufere modificări. În această direcție se pare că deocamdată opinia comună a numeroase firme producătoare este că trebuie menținute gabaritele ce au fost folosite în actuala serie (înlocuind cel mult la gabaritele 160—180—200 mașinile lungi cu cele medii) pentru a asigura o oarecare stabilitate pentru beneficiari.

Pe de altă parte, adoptarea kilowatului ca unitate de putere internațională, înlocuind calul putere, va conduce desigur la alegerea unei serii de puteri preferențiale avînd kilowați ca numere întregi deci similar actualei noastre scări de puteri, fără a mai vorbi de faptul că unele intervale din scara CEI—de pildă 7,5—11 kW sînt efectiv prea mari și vor trebui revizuite.

În orice caz, ca și la elaborarea seriei inițiale din 1960, prin lucrările efectuate în mod continuu și sistematic, țara noastră își menține locul fruntaș și poate conta permanent pe o serie de bază de motoare asincrone normale la cel mai înalt nivel tehnic.

Bibliografie

[1] Publicația CEI 72-1, 1967
[2] Lucrările Secției 10 CAER—Tbilisi, 1968
[3] STAS 2755—62 și 2755—69
[4] Din 42673, aprilie, 1964
[5] NF C51-150, martie, 1964
[6] BS 3979
[7] Cataloagele seriilor de motoare asincrone normale: AEG, SIEMENS, Schorch, ELIN, CEM, Leroy, ASEA, Pellizzari și AEI.

Realizări şi perspective în fabricaţia de transformatoare de putere

MIHAI LICULESCU, DUMITRU CÎRSTEA, IONEL RĂDUCAN
ŞI ANDREI MARINESCU * — Craiova

CZ 621.314.2:621.321

1. Etapele dezvoltării

Se împlinesc anul acesta 20 de ani de la fabricarea, la Electroputere—Craiova, a primului transformator de 320 kVA după documentaţie importată. În anii care au urmat s-au pus temeliile unei fabricaţii moderne de transformatoare şi s-a creat o puternică bază de cercetare şi proiectare care a condus la dezvoltarea construcţiilor de transformatoare şi ridicarea parametrilor tehnici la nivel comparabil cu cel al firmelor de renume mondial, s-au mecanizat procesele de fabricaţie şi s-au aplicat tehnologii care au permis obţinerea indicilor de calitate, productivitate şi economicitate impuşi de tehnica modernă.

Etapele de creştere a puterii asimilate au fost însoţite de substanţiale modificări constructive şi tehnologice care au dus la ridicarea performanţelor tehnice, a calităţii în ansamblu a transformatoarelor, precum şi a indicatorilor economici.

Ritmuri înalte s-au înregistrat şi în ceea ce priveşte volumul producţiei ajungînd ca astăzi să se satisfacă practic tot necesarul de transformatoare ale economiei noastre naţionale şi concomitent să se livreze anual la export cîteva mii de transformatoare de distribuţie, precum şi unele transformatoare mari cu puteri pînă la 63 MVA inclusiv.

Evident se prevede ca în viitor fabricaţia de transformatoare să se dezvolte în ritmuri tot mai mari atît în ceea ce priveşte caracteristicile tehnice (puteri, tensiuni) şi performanţele tehnice cît în şi ceea ce priveşte volumul de producţie pentru satisfacerea nevoilor interne şi pentru export.

În continuare, se redau cîteva aspecte din construcţia şi tehnologia aplicată, din activitatea de cercetare în acest domeniu, aspecte care marchează evoluţia fabricaţiei şi realizările mai importante obţinute.

2. Proiectarea şi tehnologia de fabricaţie

În elaborarea construcţiilor s-a mers pe linia proiectării de serii unitare cu caracteristici tehnico-economice corelate şi judicios alese şi la care s-a aplicat un grad avansat de normalizare a diverselor subansambluri şi detalii constructive.

Parametrii tehnici ai produselor sînt funcţie de stadiul tehnicii constructive şi tehnologice, de calitatea materialelor, de conjunctura economică specifică etapei respective şi desigur de preţurile pieţei la materialele ce intră în construcţia transformatoarelor şi în mod special de preţul materialelor active (cupru sau aluminiu, tablă silicioasă, materiale electroizolante etc.). Modificarea acestor condiţii în epoca actuală are loc la perioade scurte prin apariţia de materiale noi, de soluţii constructive sau tehnologice îmbunătăţite, variaţii de preţuri la materiale etc. şi, din aceste motive, are loc şi o permanentă reproiectare a seriilor de transformatoare de fiecare dată utilizîndu-se pentru optimizare calculul pe maşini de calculat şi întreaga experienţă acumulată anterior.

În ansamblu se poate aprecia că nivelul de pierderi în miezuri şi înfăşurări al construcţiilor elaborate la uzina Electroputere corespunde optimului economic al etapei şi că există perspectiva unor substanţiale reduceri a acestui nivel pe măsura introducerii unor materiale active şi izolante superioare şi a unor soluţii constructive noi.

Evoluţia construcţiilor de transformatoare datorită soluţiilor eficiente aplicate a condus pe lîngă substanţiala creştere a performanţelor şi la reducerea gabaritelor şi a greutăţii. Astfel, spre exemplu, transformatoarele de distribuţie din seria unitară elaborată în 1968 comparate cu transformatoarele din seria unitară elaborată în 1965 au pierderile în miezuri şi înfăşurări în medie mai mici cu 10%, greutatea fiind şi ea mai mică cu 6,5%. Sau, dacă se compară transformatorul de 25 MVA reproiectat şi existent astăzi în fabricaţie, cu cel care s-a fabricat pînă în 1965 se constată că are pierderile în gol mai mici cu 25%, pierderile în înfăşurări mai mici cu 8% concomitent cu reducerea greutăţii cu 11,5%.

Pentru construcţia miezurilor se utilizează în prezent numai tablă silicioasă cu cristale orientate cu izolaţia ceramică de tip Carlyte, avînd pierderi maximale după recoacere de 0,97 W/kg la 1,5 T (de tip M5) şi este în curs de introducere tabla cu pierderi maximale de 0,89 W/kg la 1,5 T (de tip M4).

* *M. Liculescu* este inginer şef la fabrica de transformatoare, ing. *D. Cîrstea* este şeful serviciului de cercetare, ing. *I. Răducan* este şeful laboratorului de calcule şi modelări, iar ing. *A. Marinescu* este şeful laboratorului de înaltă tensiune de la uzinele Electroputere—Craiova.

Tăierea şi împachetarea miezurilor la 45°, eliminarea găurilor pentru strîngere cu buloane sînt de asemenea, măsuri care au dus la scăderea nivelului de pierderi şi creşterea siguranţei de exploatare. Coloanele la miezurile transformatoarelor pînă la 10 MVA 35 kV sînt, complet fără buloane sau alte elemente mecanice de strîngere, rigiditatea fiind asigurată prin încleierea tolelor cu un lac special. La miezurile transformatoarelor cu puteri de la 10 MVA—110 kV pînă la miezul autotransformatorului 200 MVA — 220 kW se utilizează construcţia în dublă ramă. În prezent a fost asimilată construcţia în triplă ramă, aplicată la transformatorul bloc de 190 MVA în curs de fabricaţie, la autotransformatorul de 400 MVA 400 kV şi la alte construcţii de transformatoare de foarte mare putere. Pentru micşorarea vibraţiilor şi a zgomotului, coloanele se încleiază şi la transformatoarele în dublă şi triplă ramă.

O altă sursă de micşorare a pierderilor din miez o constituie folosirea oţelurilor antimagnetice pentru execuţia plăcilor de strîngere a coloanelor şi a unor elemente din construcţia schemelor de strîngere a jugurilor. Demne de remarcat sînt şi măsurile constructive luate în construcţia schelelor de transformatoare mari pentru a asigura uniformizarea cîmpului.

La uzina Electroputere Craiova folosirea aluminiului a fost abordată cu 13 ani în urmă şi s-au găsit soluţii originale de execuţie a îmbinărilor aluminiu-cupru, de execuţie a unor bobinaje din aluminiu cu caracteristici electrice ridicate, rezistente la unde de impuls şi la eforturile dinamice de scurtcircuit în condiţii similare cu cele din cupru.

Folosirea aluminiului în bobinajele de transformatoare la nivelul fabricaţiei anului 1969 din ţara noastră în condiţii comparabile ca nivel de performanţe (pierderi în fier şi înfăşurări) permite evitarea unui consum de peste 2 500 t cupru şi care, ţinînd seamă de preţurile practicate la noi pentru cupru, aluminiu, tablă silicioasă, materiale electroizolante care intră în construcţia de transformatoare, înseamnă şi o economie valorică de peste 35 milioane lei anual.

În prezent se utilizează practic exclusiv aluminiu la construcţia bobinajelor transformatoarelor pînă la puteri de 16 MVA, precum şi la unele tipuri de 25 MVA.

La transformatoarele de distribuţie se utilizează exclusiv tipul de bobinaj cilindric stratificat (la tensiunile mai înalte în execuţie cu doi galeţi). Acest tip de bobinaj cu nete avantaje economice faţă de tipul în galeţi utilizat anterior a fost adaptat condiţiilor specifice pentru bobinajele în aluminiu astfel încît, cu toate că aluminiul are o rezistenţă mecanică net inferioară cuprului, bobinajele transformatoarelor noastre de distribuţie sînt deosebit de robuste şi perfect rezistente la eforturi dinamice de scurtcircuit.

O noutate în construcţia de transformatoare de distribuţie este introducerea bobinajelor ovale care permit în condiţii egale de performanţe să se reducă 1,5 pînă la 2% din greutatea miezului.

La transformatoarele cu puteri mai mari se execută bobinaje în galeţi cu conductoare transpuse. Demne de remarcat sînt bobinajele întreţesute, cu diverse tipuri de întreţesere între care unele originale, utilizate la transformatoarele de foarte mare putere. Pentru micşorarea pierderilor se utilizează conductoare fracţionate, cu pînă la 36 conductoare elementare în paralel. La unele tipuri de transformatoare de mare putere se utilizează conductoare fracţionate dar cu izolaţie comună. Toate bobinajele începînd cu tensiunea de 110 kV şi mai sus sînt cu izolaţie moale, răsfrîntă la capete (fig. 1), ceea ce duce la o rigiditate dielectrică deosebit de mare faţă de masă şi siguranţă deplină în exploatare. O serie de elemente constructive ca de exemplu ecranele laterale de uniformizare a cîmpului montate pe înfăşurarea de reglaj a autotransformatoarelor de mare putere, inelele de gardă de construcţie modernă etc. asigură condiţiile necesare funcţionării la tensiuni foarte mari. Pentru stabilitate la eforturi dinamice, pe lîngă elementele constructive care să asigure rigiditatea mecanică a bobinelor se utilizează şi o tehnologie

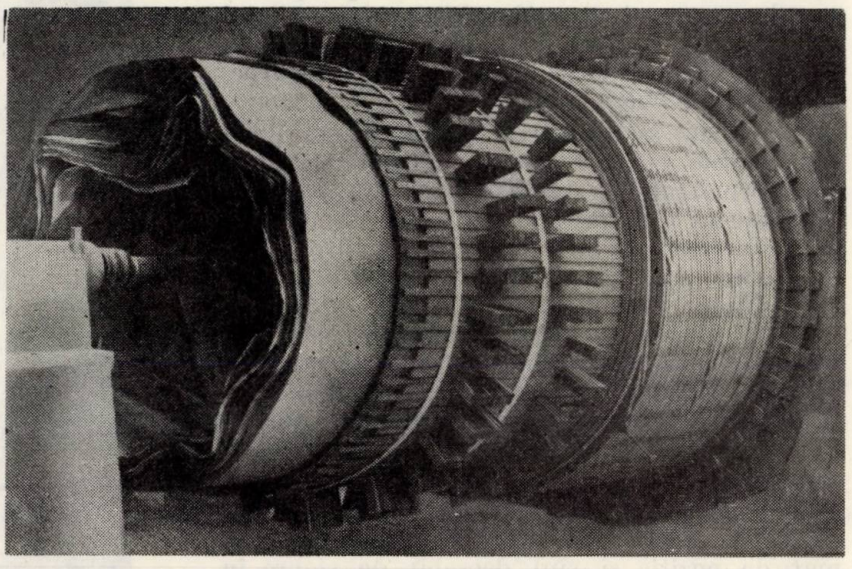


Fig. 1. Execuţia unei bobine de 220 kV. Se observă straturile de hîrtie care în partea dreaptă sînt răsfrînte iar în partea stîngă a bobinei urmează a fi răsfrînte după bobinare, presare şi uscare.

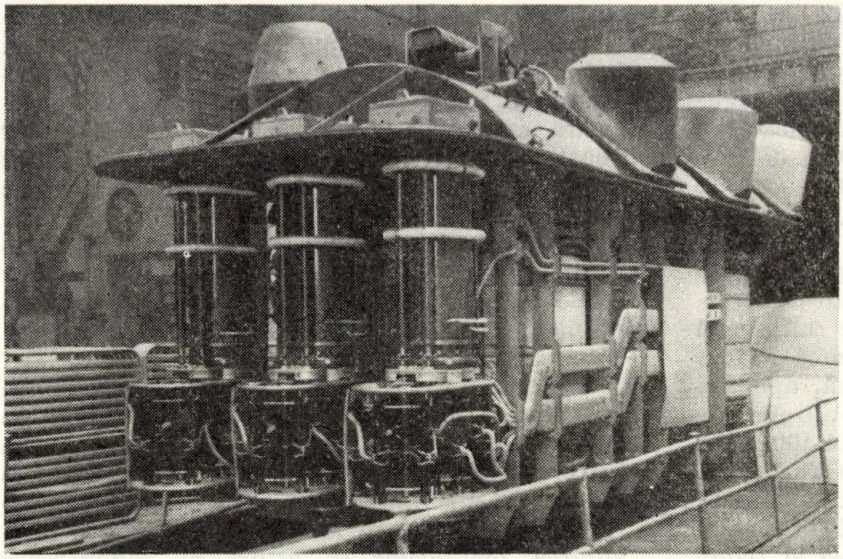


Fig. 2. Partea decuvabilă a autotransformatorului 100/100//33 MVA 231/110/10,5 kV înainte de introducere la uscare.

modernă de compactare a izolației înainte, în timpul și după uscare.

Măsurile constructive și tehnologice prezentate împreună cu folosirea unor materiale moderne de bună calitate ca transformerboardul, banda de hîrtie cu inserții din fibre, benzile de hîrtii creponate, benzile țesute din fibre metalice, benzi de încleiere, lacul pentru lipit izolații cu uscare la rece, aliajul pentru metalizarea conductoarelor de aluminiu, aliajul de lipit cu conținut de argint etc. au dus în ansamblu la obținerea unor bobinaje moderne la nivelul tehnicii mondiale.

În prezent se fac cercetări pentru stabilirea construcției și a tehnologiei de execuție a transformatoarelor de distribuție cu bobinaje din folii de aluminiu, se studiază introducerea la bobinajele transformatoarelor de mare putere a conductoarelor multifilare transpuse cu izolația firelor elementare din email și izolație comună din hîrtie ceea ce asigură reducerea pierderilor în cupru etc. Preocupări există în prezent pentru introducerea bobinajului stratificat și la transformatoarele de mare putere.

Transformatoarele de distribuție sînt dotate cu comutatoare de reglaj a tensiunii fără sarcină de concepție proprie. Aceste comutatoare cu dublu contact de tip taler, au blocaj automat de poziție și sînt deosebit de sigure în exploatare. Pentru transformatoarele de distribuție cu mai multe tensiuni s-a conceput un comutator special pentru conectarea bobinelor serie paralel și stea-triunghi cu efectuarea reglajului pe fiecare conectare.

Transformatoarele mari sînt toate prevăzute cu comutatoare de reglaj sub sarcină în ± 9 trepte sau ± 12 trepte, tensiunea pe treaptă fiind de regulă 1,78% sau 1,25%. La transformatoarele de tensiuni mari se iau măsuri constructive de execuție a îmbinărilor cu comutatorul prin detalii rotunjite pentru uniformizarea cîmpului electric (fig. 2, 3, 4).

La transformatoarele de foarte mare putere și tensiuni înalte (220 kV, 400 kV și mai mult) o problemă deosebit de dificil de rezolvat o constituie ecranarea cuvei în scopul evitării încălzirilor locale. La uzina Electroputere s-au realizat cîteva tipuri de ecranări și se studiază împreună cu Institutul politehnic din București soluții noi în această direcție.

Cuvele la transformatoarele de distribuție sînt realizate într-o construcție robustă avînd răcirea prin radiatoare tip liră din țeavă cu perete de 1,5 mm. Acest sistem de radiatoare a permis, păstrînd robustețea construcției, să se realizeze o tipizare înaltă a sistemului de răcire. Toate cuvele transformatoare de distribuție sînt probate la o presiune de 0,5 at cu ulei încălzit și se preconizează trecerea la pro-

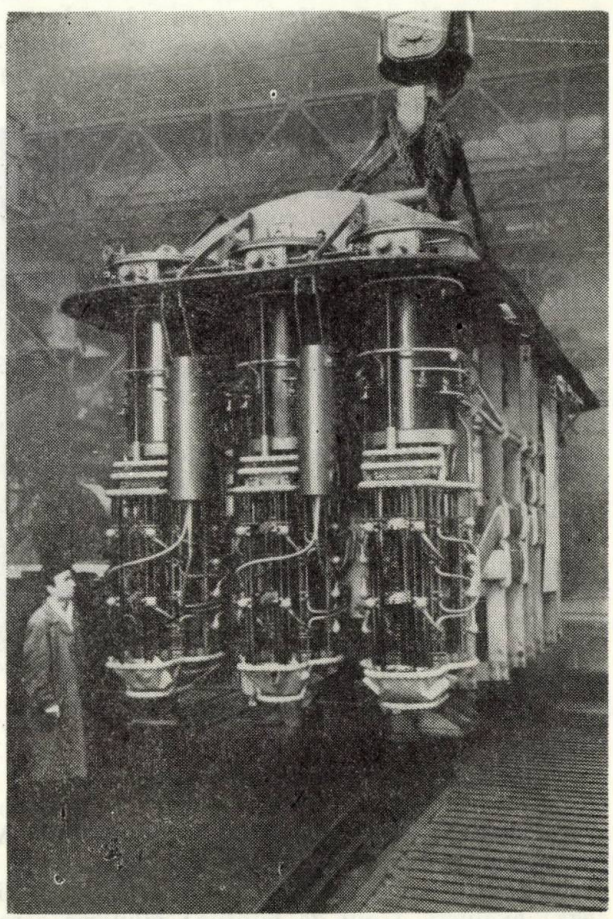


Fig. 3. Partea decuvabilă a autotransformatorului 200/200/60 MVA 231/110/10,5 kV, vedere dinspre partea comutatoarelor.

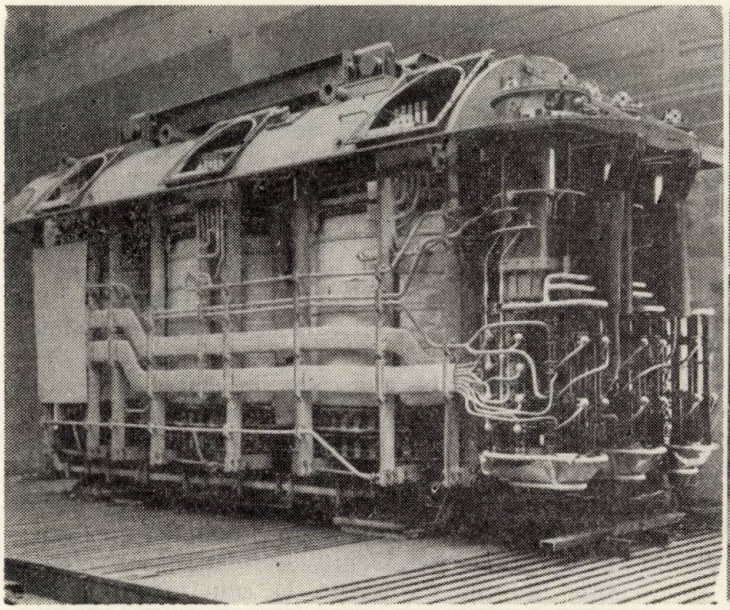


Fig. 4. Partea decuvabilă a autotransformatorului 200/200/60 MVA 231/110/10,5 kV, vedere laterală.

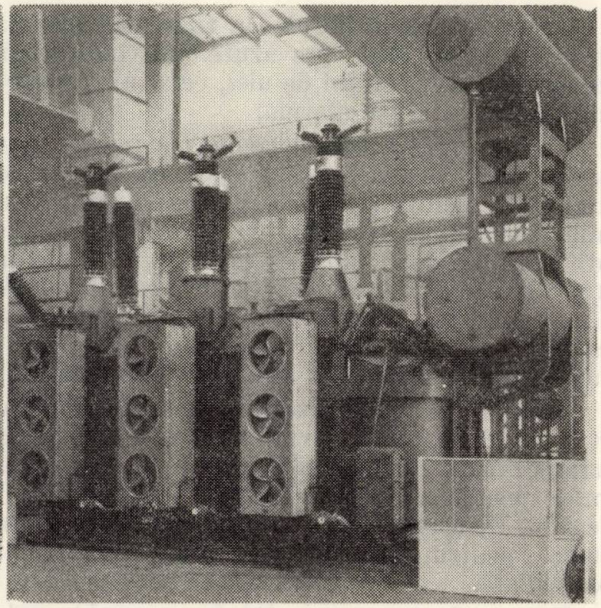


Fig. 5. Autotransformator 200/200/160 MVA 231/110/10,5 kV cu răcirea prin baterii cu circulaţia forţată a uleiului şi suflaj de aer.

barea cu presiune de aer în mediu lichid. Acest sistem nou de probare este în curs de elaborare şi va permite o verificare absolut sigură a etanşeităţii şi o productivitate ridicată la încercări.

Construcţia normală a transformatoarelor de distribuţie este cu conservator prevăzut cu nivelă de ulei incasantă şi cu filtru conţinînd material absorbant de umiditate (silicagel) şi prevăzut cu pătură de ulei. În afară de aceasta a fost elaborată şi construcţia de transformatoare de distribuţie fără conservator. De asemenea trebuie menţionate construcţiile de transformatoare de distribuţie la care ieşirile sînt făcute prin cutii de cablu.

Se remarcă şi construcţia originală şi extrem de simplă şi sigură în exploatare a buşonului de luat probe ulei care a fost generalizată la toate tipurile de transformatoare ce se fabrică la uzina Electroputere.

La transformatoarele mari cuvele au forme rotunjite, majoritatea fiind în varianta „clopot" adică în soluţia care permite ca în exploatare eventualele revizii să se facă fără a necesita poduri rulante mari pentru ridicarea părţii decuvabile. La transformatoarele foarte mari construcţia metalică se realizează în varianta autoportantă, respectiv aceste transformatoare se transportă prinse direct de boghiurile unui vagon special fără platformă sau lonjeroane şi avînd 20 osii (280 t capacitate de transport).

Pentru eliminarea pierderilor la transformatoarele mari se folosesc diverse sisteme de răcire şi anume :

— răcire naturală la care se utilizează radiatoare executate din lire tipizate, similare constructiv şi tehnologic cu cele utilizate la transformatoarele mici ;

— răcire cu circulaţie naturală a uleiului şi suflaj de aer care constructiv este similară cu aceea naturală dar la care sînt prevăzute şi ventilatoare ;

— răcire cu circulaţie forţată a uleiului şi suflaj de aer în care scop se folosesc baterii de răcire cu diverse puteri de disipare (fig. 5). Bateriile au ţevi din oţel-aluminiu, cu aripioare pentru creşterea efectului de transmisie, motopompe şi motoventilatoare cu randament ridicat, indicatoare de circulaţie etc. şi au fost concepute într-o soluţie originală de către Institutul de cercetări electrotehnice din Bucureşti ;

— răcire cu circulaţie forţată a uleiului şi circulaţie de apă în baterii speciale, sistem la care s-au luat măsuri speciale de prevenire a îngheţului în cazul neutilizării unora dintre baterii.

Pentru cele trei sisteme de răcire la care se prevede circulaţie forţată de ulei sau suflaj de aer s-au conceput scheme de automatizare a introducerii în circuit a pompelor pentru ulei şi motoventilatoarelor pe grupe în funcţie de temperatura uleiului sau de temperatura înregistrată de imaginarea termică (termocopia) cu care sînt dotate transformatoarele.

O problemă pentru care există preocupări în prezent, legată de transformatoarele de foarte mare putere este găsirea soluţiilor constructive pentru dirijarea circuitului de ulei în interiorul transformatoarelor astfel încît acesta să spele părţile cele mai calde.

Conservatoarele de ulei la toate transformatoarele mari sînt prevăzute cu indicatoare magnetice a nivelului de ulei, care au contacte de semnalizare și alarmă.

La transformatoarele de foarte mare putere s-au luat măsuri speciale pentru micșorarea oxidării uleiului. Într-o perioadă destul de mare s-a adoptat soluția cu pernă de azot însă dificultățile de exploatare și complicațiile constructive au dus la renunțarea la această soluție. În prezent s-a adoptat și extins utilizarea unei membrane elastice din cauciuc rezistent la ulei, soluție simplă și sigură în exploatare.

Ieșirile la transformatoarele mari sînt de tip condensator în varianta ulei-aer pentru transformatoare normale sau în variante ulei-ulei pentru transformatoarele cu legături în cablu. De asemenea, s-au găsit soluții constructive pentru transformatoarele avînd bare capsulate.

Demne de remarcat sînt în ansamblu soluțiile adoptate pentru transformatoarele care lucrează în regim de șocuri de curent cum sînt transformatoarele de 50/63 MVA ce alimentează blumingurile de la Hunedoara. De asemenea, pentru condițiile grele de exploatare din anumite zone ale sistemului energetic este în curs de elaborare o nouă serie de transformatoare pînă la 100 MVA cu reactanță mărită ($U_k = 18...20\%$).

Între produsele mai importante realizate de uzina Electroputere sau în curs de realizare la uzină se remarcă: transformatoare bloc de 40 MVA 242/15 kV cu ieșire în cablu pentru hidrocentrala de pe rîul Argeș; transformatoare 80/80/80 MVA 38,5/110/10,5 kV pentru centrala electrică de termoficare Govora; transformatorul de 125 MVA 110/10,5 kV pentru centrala electrică de termoficare Galați; transformatoare de 190 MVA 220/15,75 kV pentru hidrocentrala de pe Dunăre de la Porțile de Fier și care ulterior se vor construi și pentru hidrocentrala de pe Lotru; autotransformatorul de 100/100/33 MVA 231/110/10,5 kV și autotransformatoarele de 200/200/60 MVA 231/110/10,5 kV pentru legarea sistemului de alimentare cu energie la 220 și 110 kV.

În perspectiva imediată se găsește realizarea unor transformatoare bloc de 240 MVA și 400 MVA la tensiuni de 220 și 400 kV, precum și autotransformatoarele de 400/400/160 MVA 400/231/22 kV pentru legarea sistemelor de alimentare la 400 și 220 kV.

Nivelul tehnic atins de fabricația de transformatoare de la uzina Electroputere permite abordarea de probleme tehnice dificile și realizarea de produse cu caracteristici și performanțe la nivelul celor realizate de firme cu tradiții și prestigiu.

3. Cercetarea științifică

Cercetările, studiile și încercările executate în laboratoarele uzinale pe produse și modele au avut o contribuție însemnată în rezolvarea problemelor de proiectare și fabricație. Astfel, s-au introdus calculatoarele electronice în munca de concepție și studiul anumitor fenomene. Experimentări de amploare în domeniul tehnicii tensiunilor înalte și comportării la scurtcircuit brusc au verificat corectitudinea ipotezelor teoretice făcute și au dus la realizări la nivelul tehnicii mondiale. În continuare se vor prezenta numai cîteva aspecte din acest domeniu.

Cercetări privind stabilitatea termică și dinamică a transformatoarelor la scurtcircuit brusc. Din încercarea directă a transformatoarelor la scurtcircuit [1], [2], [3] s-a constat că durata și numărul scurtcircuitelor influențează foarte mult nivelul de ținere la scurtcircuit brusc.

S-a constatat de asemenea că orice solicitare în scurtcircuit produce deformări remanente în bobinaje cum ar fi tasarea izolației și slăbirea precomprimării și consolidării, deformări vizibile sau nu ale conductoarelor și sistemului de consolidare a înfășurărilor și conexiunilor etc.

Utilizînd metode experimentale bazate pe bobina-sondă [4], [5] sau metode de calcul [6], [7], [8] s-a studiat distribuția spațială a componentei radiale a inducției magnetice respectiv a forțelor axiale, pe anumite construcții de transformatoare de diferite puteri. S-a considerat că studiul repartiției inducției radiale furnizează date suficiente atît pentru alegerea prizei corespunzătoare celor mai mari forțe axiale cît și pentru cunoașterea valorii acestor forțe și a modului de solicitare a înfășurărilor și sistemului de strîngere.

Calculul componentei radiale a inducției magnetice s-a făcut prin aplicarea metodei amperspirelor reziduale detaliate [7] și a ipotezelor simplificatoare prezentate în [6] folosind calculatoare în baza formulei Biot-Savart-Laplace în modul.

Atît calculul cît și măsurările inducției radiale s-au făcut la suprafața înfășurării exterioare pentru a putea fi comparate.

Din analiza curbelor de distribuție spațială a inducției radiale respectiv a forțelor axiale s-au constatat următoarele: la capetele înfășurărilor, valorile calculate ale inducției sînt mai mari decît cele măsurate. Cauza principală o constituie neglijarea influenței fierului.

De asemenea, ca urmare a neglijării influenței fierului se constată o diferență în distribuția inducției radiale datorită denivelării de amperspire. Trecerile prin zero, în realitate, sînt deplasate mai către capetele înfășurării, față de cele calculate [6].

Eroarea se manifestă diferențiat în curbele de distribuție de-a lungul înfășurărilor. Ea

depinde foarte mult şi de mărimea transformatorului, la unităţile mari şi de tensiuni înalte (cu distanţe mari la miez) fiind mai mică, iar la unităţile mici (cu distanţe mici la miez) fiind mult mai pronunţată.

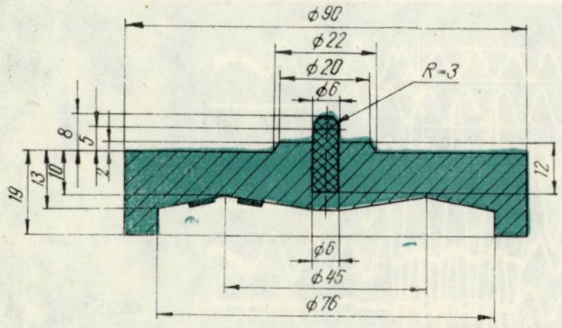


Fig. 6. Traductorul tensometric folosit la măsurarea forţelor pe un transformator de 1 000 kVA.

Metoda de calcul care foloseşte un calculator electronic, prezentată în [6], permite determinarea cu suficientă precizie a prizei corespunzătoare celei mai mari forţe axiale şi furnizează valori acoperitoare pentru forţele axiale în transformatoarele de mare putere.

Folosind mărci tensometrice montate în traductoare speciale (fig. 6) sub buloanele de strîngere ale înfăşurărilor (fig. 7) s-au determinat forţele axiale globale care acţionează la scurtcircuit [9].

Din interpretarea oscilogramelor obţinute pe cale tensometrică se pot studia calitativ şi cantitativ următoarele elemente :

$F_{max\ şoc}$ — forţa maximă de şoc în momentul cuplării la reţea ;

$F_{max\ stb}$ — forţa corespunzătoare regimului dinamic stabilizat ;

f_0 — frecvenţa proprie a înfăşurării în prezenţa consolelor ;

f_c — oscilaţia complexă a consolelor faţă de bobinaj.

O serie întreagă de măsuri constructiv-tehnologice, prezentate anterior [3] au permis modernizarea construcţiilor.

Transformatoarele experimentale cît şi transformatoarele din seria în fabricaţie de la 100 la 1 600 kVA elaborate după aceste principii au suportat ireproşabil ciclul de cinci încercări (patru scurtcircuite cu durata de 0,5—1 s şi un scurtcircuit cu durată prelungită la 3 s). Încercările s-au executat atît în laboratoare din ţară cît şi în străinătate. S-a constatat că chiar după repetarea ciclului de cinci scurtcircuite noile construcţii de transformatoare se comportă bine ceea ce indică performanţe ridicate faţă de solicitările severe care apar la scurtcircuit brusc.

Cercetările executate au furnizat date preţioase privind standardizarea condiţiilor tehnice şi metodologiei de încercare la scurtcircuit brusc [10], [11].

În uzină s-a amenajat un stand de încercări [2], [12] care permite încercarea transformatoarelor cu puteri pînă la 1 000 kVA la scurtcircuit brusc. S-au pus la punct schemele de înregistrat a diferitelor mărimi, a căror comportare constituie un indiciu asupra stării transformatorului încercat (fig. 8 şi 9). Transformatoarele de puteri mari (6,3 MVA, 16 MVA) au fost încercate în reţeaua de înaltă tensiune [3] sau în laboratoare din străinătate. În prezent, încercarea la scurtcircuit brusc pentru transformatoarele de putere mică şi mijlocie constituie o probă de tip. Posibilităţile de încercare vor creşte considerabil o dată cu darea în exploatare a laboratorului de mare putere în curs de execuţie la uzina Electroputere.

Cercetări privind modelarea fizică şi matematică în construcţia transformatoarelor. O dată cu creşterea tensiunilor nominale ale transformatoarelor, la 110 kV apoi 220 kV şi recent 400 kV, au fost necesare o serie de studii legate de rezistenţa la impuls de tensiune a înfăşurărilor utilizate. În acest scop au fost efectuate

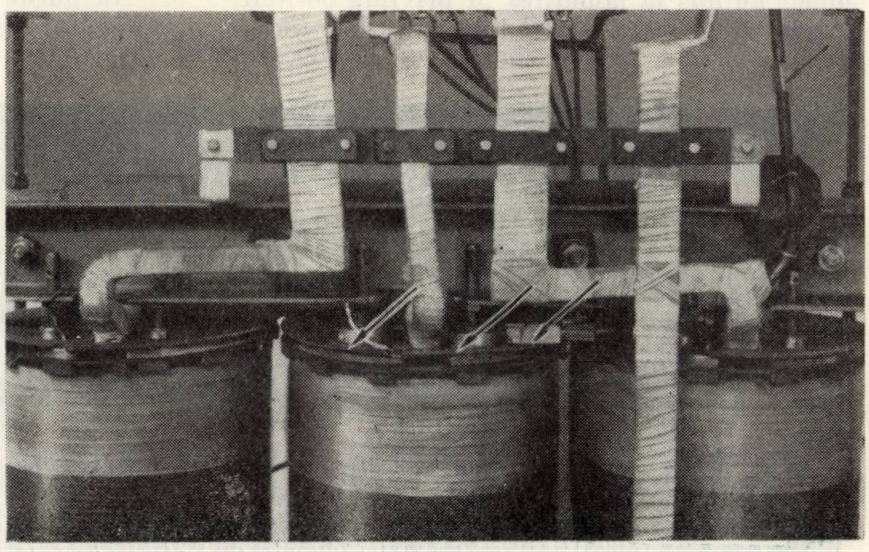


Fig. 7. Montarea traductoarelor tensometrice sub buloanele de strîngere.

cercetări pe modele şi încercări gradientografice pe înfăşurările unor prototipuri, utilizînd generatoare de impulsuri repetate, la tensiune scăzută.

Pentru studiul repartiţiei iniţiale a tensiunii de impuls au fost utilizate atît modele reţea de condensatoare sau rezistenţe cît şi modele

electromagnetice combinate, monofazate sau trifazate, la început modelînd şi miezul magnetic [13], [14].

O etapă importantă în studiile pe modele electromagnetice combinate a constituit-o modelul autotransformatorului de 200 MVA 220/110 kV. Acesta a fost realizat la scara 1/5, trifazat, modelîndu-se şi miezul magnetic (fig. 10).

Concluziile cercetărilor efectuate pe acest model au dus la lămurirea în privinţa posibilităţilor de înlocuire a modelului trifazat cu unul monofazat şi asupra posibilităţilor de înlocuire a miezului feromagnetic şi a bobinajului terţiar cu un cilindru metalic închis şi conectat la masă.

Concluziile privitoare la rezistenţa la impuls de tensiune a înfăşurărilor autotransformatorului au fost confirmate de încercările efectuate asupra prototipului acestui autotransformator.

O altă etapă importantă în studiul pe modele au constituit-o modelele reţea de capacităţi, reţea de rezistenţe şi modelele electromagnetice

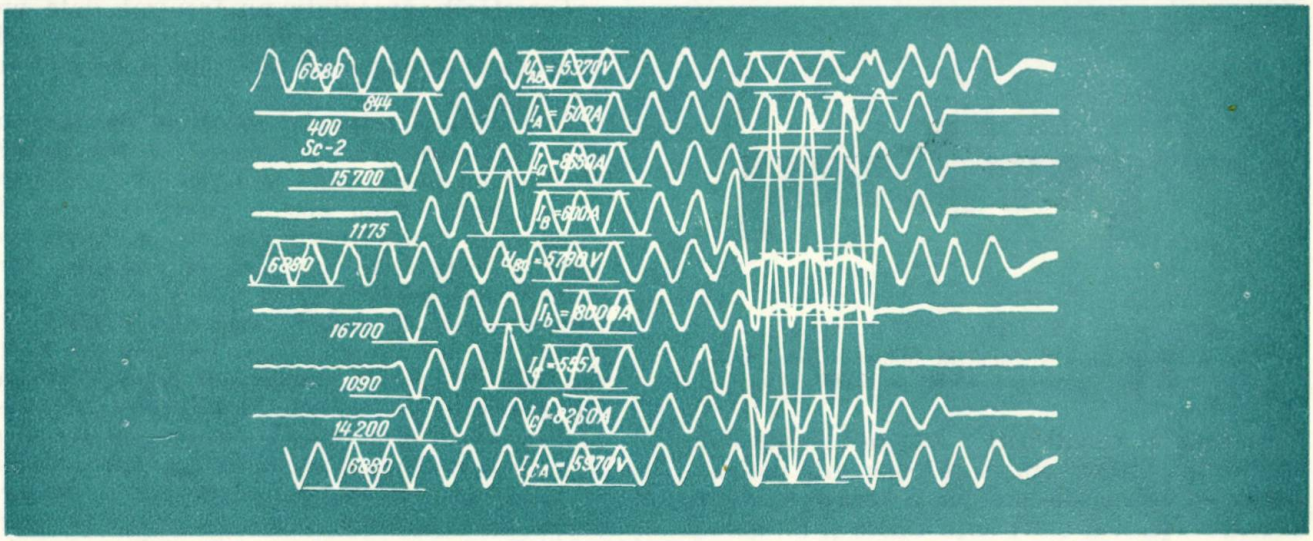


Fig. 8. Oscilogramă care indică defect într-un transformator încercat la scurtcircuit brusc.

combinate ale unui autotransformator de mare putere şi înfăşurări de 400 kV cu intrare la mijloc. În figura 11 se vede un model electromagnetic combinat pentru acest autotransformator.

Au putut fi astfel cercetate avantajele înfăşurărilor cu intrare la mijloc şi efectul diverselor tipuri de înfăşurări întreţesute asupra repartiţiei tensiunii de impuls de-a lungul acestor înfăşurări.

Tot cercetările pe aceste modele au permis trecerea la un stadiu avansat al metodelor de investigare a fenomenului tranzitoriu la impuls

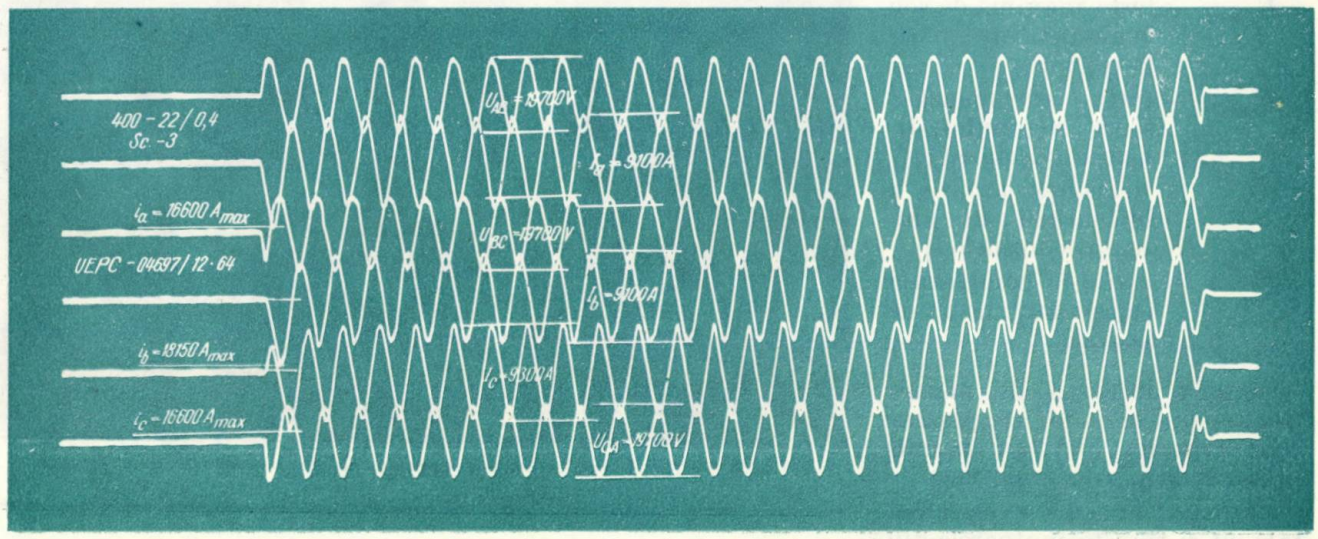


Fig. 9. Oscilogramă care indică o comportare normală la un transformator de 400 kVA, 22/0,4 kV.

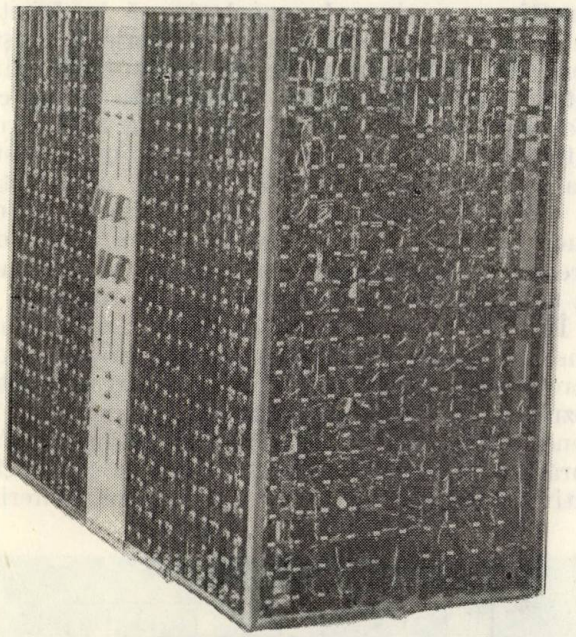


Fig. 10. Modelul electromagnetic combinat complet montat al autotransformatorului de 200 MVA-220/110 kV.

de tensiune și anume modelul matematic rezolvat cu ajutorul calculatorului analogic sau cu ajutorul calculatorului cifric [15].

Pentru studiul repartiției tensiunii de impuls la borna 0 de conectare a autotransformatorului cînd unda de impuls se aplică pe borna 0 (fig. 12) s-a putut ajunge la modelul matematic reprezentat de următoarea ecuație diferențială :

$$\frac{d^2 u_1}{dt^2} = Au_1 + BU, \qquad (1)$$

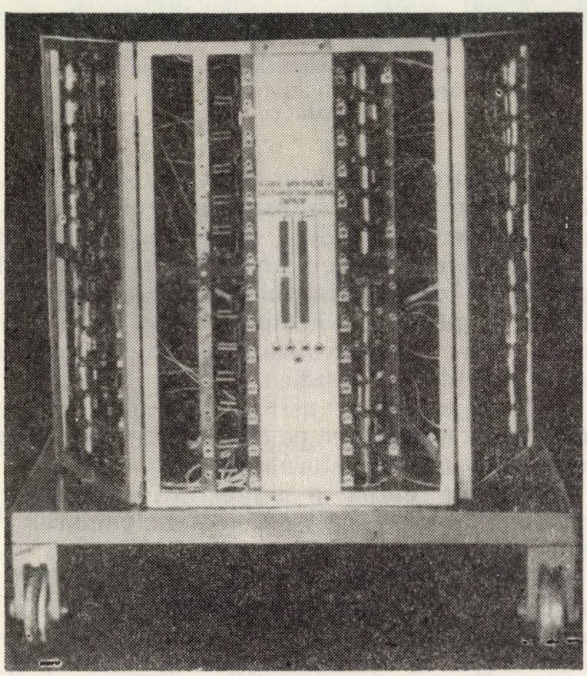


Fig. 11. Modelul electromagnetic combinat al unui autotransformator de mare putere 400/220 kV.

unde :

U este tensiunea aplicată la borna 0 (unda treaptă unitate) ;

u_1 — tensiune care se repartizează pe borna 1 ;

A,B — coeficienți constanți funcție de inductivitățile proprii și mutuale și de capacitățile serie respectiv paralel ale înfășurărilor.

Schema bloc utilizată pentru rezolvarea cu calculatorul a modelului matematic (1) este aceea din figura 13.

Utilizînd diverse sisteme de întrețesere ale înfășurărilor care în modelul matematic influențează valorile coeficienților A și B și rezolvînd acest model s-a putut face o ierarhizare a soluțiilor de combinare a diverselor tipuri de înfășurări conectate la un transformator în ceea ce privește repartiția favorabilă a tensiunii de impuls.

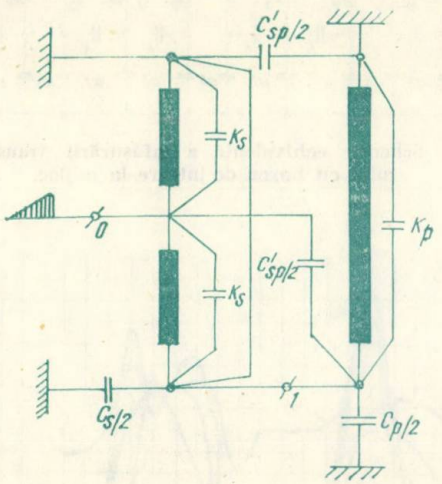


Fig. 12. Schema echivalentă a unui autotransformator cu borna de intrare la mijlocul înfășurării de IT.

Modelul matematic simplificat (1) rezolvat cu calculatorul analogic constituie un mijloc extrem de operativ pentru a se determina soluțiile optime de înfășurări adoptate în funcție de schema de conexiune a autotransformatorului în exploatare. Repartiția tensiunii de impuls pe fiecare înfășurare separat s-a studiat cu un model matematic asemănător cu (1) dar de data aceasta ecuația diferențială respectivă fiind matricială. Înfășurarea analizată a fost împărțită în elemente de calcul, numărul lor depinzînd de numărul de amplificatoare operaționale existente la calculatorul analogic.

Pentru rezolvarea aceluiași model cu calculatorul cifric, schema echivalentă discretă a înfășurării a putut fi realizată cu un număr relativ mare de elemente de calcul (circa 20 față de cinci elemente pentru modelul analogic) [16].

Schema echivalentă a înfăşurării cu borne de intrare la mijloc analizată cu un model matematic rezolvat cu calculatorul cifric se vede în figura 14, iar repartiţia tensiunilor de

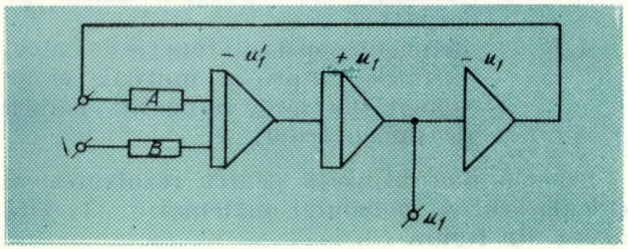


Fig. 13. Schema bloc pentru rezolvarea cu calculatorul analogic a modelului matematic de studiu a repartiţiei tensiunii de impuls pe înfăşurări conectate autotransformatoric.

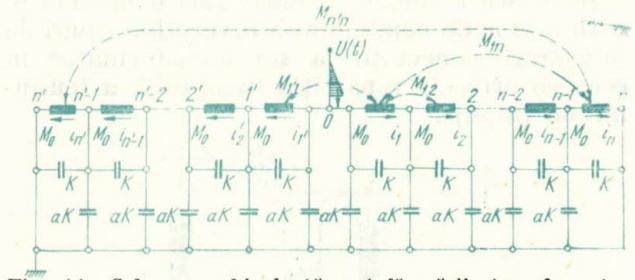


Fig. 14. Schema echivalentă a înfăşurării transformatorului cu borna de intrare la mijloc.

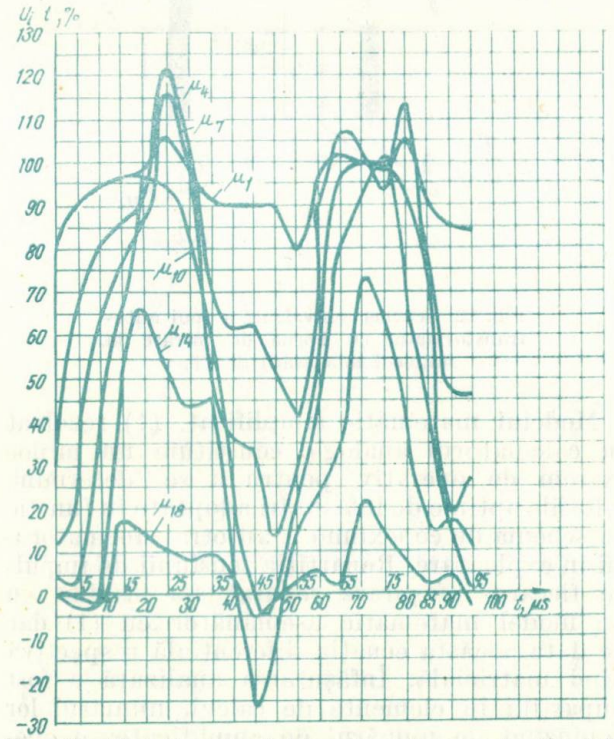


Fig. 15. Variaţia potenţialelor diverselor puncte din înfăşurarea neîntreţesută, în funcţie de timp.

impuls în cîteva puncte ale sale pentru varianta neîntreţesută se vede în figura 15, iar pentru o variantă întreţesută tip Ganz în figura 16.

În urma încercărilor efectuate pe modele electromagnetice combinate şi pe modele matematice s-a ajuns la concluzia că în funcţie de modul de întreţesere a bobinajelor creşte perioada armonicilor de la înfăşurările fără întreţesere la înfăşurări întreţesute şi că cel mai antirezonant tip de înfăşurare este cel cu întreţesere de tip Ganz. În afară de aceasta s-a ajuns la concluzia că modelul matematic şi relaţiile analitice deduse dau posiblitatea unor cercetări foarte comode şi suficient de precise a fenomenului tranzitoriu de impuls în comparaţie cu celelalte metode utilizate.

În spiritul modernizării proiectării au fost puse la punct două programe de calcul: unul care optimizează circuitul electromagnetic rezultînd în urma calculelor un diametru şi în general o geometrie optimă a miezului şi înfăşurărilor şi un alt program pentru calculul definitiv al proiectului transformatorului. Criteriul

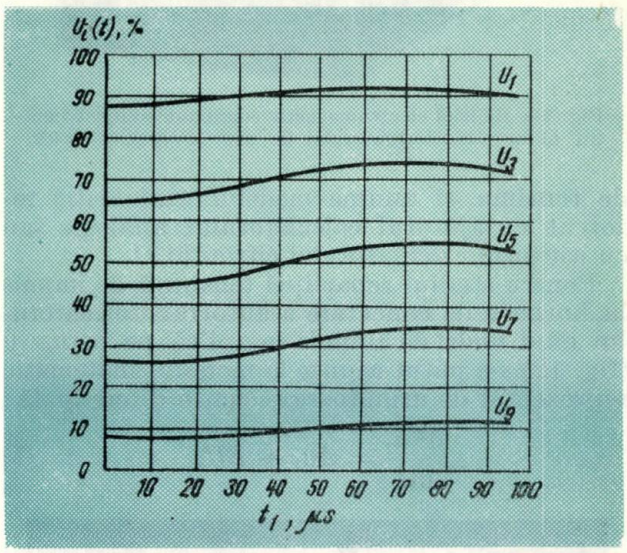


Fig. 16. Variaţia potenţialelor diverselor puncte din înfăşurarea întreţesută după tipul Ganz, în funcţie de timp.

de optimizare adoptat în acest caz a fost optimizarea construcţiei transformatorului la parametri de exploatare daţi (pierderi, tensiune de scurtcircuit etc.). S-a adoptat acest criteriu de optimizare bazat pe faptul constatat că este mai eficace o optimizare în două etape, fiecare din aceste etape fiind realizată de specialiştii cei mai competenţi şi anume:

— prima etapă o constituie optimizarea parametrilor de exploatare pe care o face specialistul care utilizează transformatorul;

— a doua etapă o reprezintă optimizarea construcţiei pe care o face constructorul de transformatoare.

Modelul matematic la care s-a ajuns pentru optimizare reprezintă o ecuaţie algebrică de gradul 5, de a cărei soluţie depind toţi parametrii constructivi ai transformatorului care se calculează ca atare. Datorită faptului că rezultatele obţinute prin această metodă de opti-

mizare au o variaţie continuă, pe cînd anumiţi parametri ai transformatorului au o variaţie discretă (număr de spire, de straturi etc.), precum şi datorită normalizării diametrelor de coloană utilizate nu se pot folosi aceste rezultate optime, ceea ce a dus la întocmirea celui de al doilea program numit „de calcul definitiv" care foloseşte o parte din rezultatele calculului de optimizare dar porneşte cu un diametru al coloanei normalizat cel mai apropiat de diametrul optim rezultat.

Cele două programe de calcul amintite sînt aplicabile numai la transformatoare din seria 100—1 600 kVA tensiuni nominale pînă la 35 kV, reglaj fără tensiune, înfăşurări din aluminiu şi tolă laminată la rece.

Rezultatele obţinute pentru calculul acestor transformatoare utilizînd un calculator cifric Elliott 4100 au dus la concluzia că seria de transformatoare existentă în fabricaţie este destul de aproape de variantele optime, transformatoarele în fabricaţie fiind doar cu 1—2% mai scumpe.

Urmează ca în viitorul apropiat, o dată cu dotarea UEPC cu un calculator cifric propriu, majoritatea calculelor de proiectare ale transformatoarelor să fie efectuate cu mijloace moderne. Va fi de asemenea generalizat şi programul de calcul al eforturilor electrodinamice la scurtcircuit brusc.

Cercetări privind izolaţia transformatoarelor. Dezvoltarea fabricaţiei de transformatoare este strîns legată şi de dezvoltarea metodelor de încercare şi a bazei materiale necesare. Astfel, în 1958 s-a creat laboratorul de înaltă tensiune care de la început a fost angrenat în munca de cercetare necesară pentru punerea la punct a fabricaţiei de transformatoare de înaltă tensiune rezistente la impuls de tensiune [17], [18]. Pe baza acestor cercetări a fost standardizată încercarea la impuls de tensiune a transformatoarelor în ţara noastră [19] şi s-au elaborat metode adecvate pentru detectarea defectelor în izolaţia transformatoarelor. Detectarea defectelor în izolaţia longitudinală a înfăşurărilor înainte de montarea părţii decuvabile, înainte de uscarea şi încuvarea transformatoarelor în ulei, duce la o economie serioasă de manoperă şi timp în procesul de producţie şi reduce substanţial returnările de la standul de probă [20], [21].

În afară de aceasta detectarea defectelor în izolaţia transformatoarelor complet montate este o necesitate curentă a platformei de încercare a fabricii constructoare mai ales dacă se are în vedere faptul că încercarea la tensiune indusă a izolaţiei longitudinale nu scoate în evidenţă multe deteriorări ale izolaţiei.

Introducerea încercării cu undă tăiată a reprezentat un nou pas înainte atît în tehnica de încercare [22] cît şi metodologia încercării [23].

Pentru mărirea fidelităţii măsurării undei tăiate s-au construit în laborator utilaje speciale cum sînt: dispozitivele de sincronizare ale oscilografului catodic cu generatorul de impuls [24], dispozitivul de sincronizare cu reţeaua de tensiune alternativă în cazul încercărilor simultane cu tensiune alternativă şi de impuls pentru localizarea defectelor la transformatoare [25]

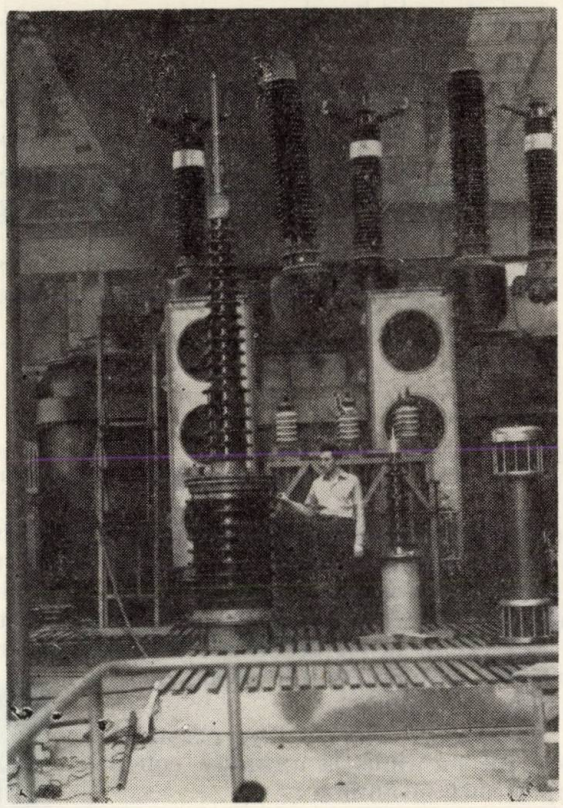


Fig. 17. Divizoare de tensiune capacitive de impuls pentru 500 şi 1 000 kV pe platforma de încercări a laboratorului de înaltă tensiune (în planul al doilea autotransformatorul de 200 MVA 110/220 kV).

şi divizoare de tensiune [26]. În figura 17 sînt arătate două divizoare capacitive de 1 000 kV şi 500 kV realizate din izolatoare de trecere aer-ulei pe standul de încercări al laboratorului de înaltă tensiune, iar în figura 18 caracteristici de frecvenţă ale divizorului de 1 000 kV pentru diferite valori ale rezistenţei de atac. Rezistenţa de atac pentru care se obţine cea mai mică abatere (10%) de la raportul de divizare teoretic este de 340 ohmi, iar banda de frecvenţă transmisă cuprinsă între 1 kHz şi 3 MHz acoperă domeniul necesar indicat de CEI pentru încercările cu undă plină şi tăiată.

Studiile întreprinse [27], [28], [29] permit ca în momentul de faţă să se încerce toate tipurile de transformatoare şi autotransformatoare fabricate de uzina Electroputere pînă la 220 kV tensiune nominală inclusiv.

O altă preocupare a laboratorului de înaltă tensiune o formează studiul descărcărilor par-

țiale în izolația hîrtie-ulei din transformatoare [30].

Metoda de determinare a stării izolației pusă la punct la uzina Electroputere constă în ridicarea unor curbe de istereză a intensității descărcărilor parțiale în funcție de tensiune. În

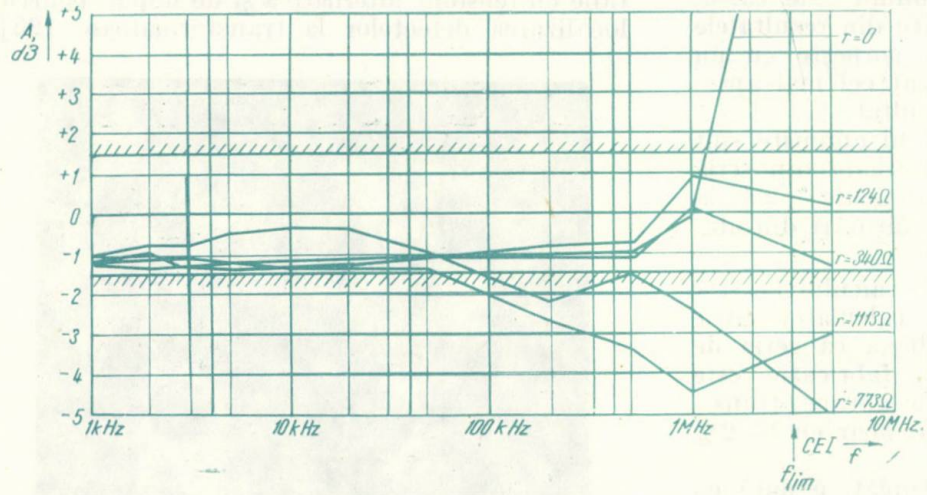


Fig. 18. Caracteristica de frecvență a divizorului capacitiv de 1 000 kV construit în laboratorul de înaltă tensiune.

acest scop s-au făcut serii de măsurări pe loturi de transformatoare identice. Obținerea acestor curbe de istereză se datorește unei anumite inerții în formarea gazelor, care face ca acestea să rămînă în urma tensiunii și de aici apar la tensiuni descrescătoare nivele de descărcări mai mari.

Din analiza mai multor măsurări de acest fel s-a ajuns la anumite concluzii importante și anume:

— suprafața închisă de bucla de istereză este cu atît mai mare cu cît abaterea de la tehnologia de fabricație este mai mare (ciclul de istereză lipsește cu desăvîrșire în cazul umplerii și impregnării sub vid și menținerii înainte de încercare sub tensiunea de funcționare circa 8—24 ore;

— determinarea separată fie a pragului de apariție, fie a nivelului maxim al descărcărilor parțiale nu permite să se facă o apreciere judicioasă a stării izolației.

Aceste concluzii sînt foarte importante pentru stabilirea stării izolației la un moment dat și deci a duratei de viață a acesteia.

Încercarea izolației transformatoarelor la supratensiuni de comutație este în momentul de față pusă la punct în laboratorul de înaltă tensiune făcînd apel la o metodă simplă: producerea undelor de supratensiune prin inducție chiar în transformatorul de încercat [31]. Schema de principiu a instalației este dată în figura 19. Condensatorul C_s este încărcat de la o sursă de curent continuu la o tensiune cel puțin egală cu tensiunea nominală a înfășurării primare a transformatorului. Forma undei rezultate în secundar este apropiată de o undă trapezoidală cu durata frontului de circa 200 μs și trecere prin zero cuprinsă între 5 și 8 ms datorită schimbării polarității de încărcare a condensatorului acumulator.

Trecerea la fabricația echipamentului electric de 400 kV și necesitatea executării unor încercări complete pentru mărirea competitivității la export a produselor uzinei Electroputere a făcut necesară construirea unui nou laborator de înaltă tensiune, care urmează a se pune în funcțiune. În noul laborator se vor putea efectua toate încercările standardizate ale echipamentului electric și în plus datorită ecranării electromagnetice a halei se va putea determina nivelul de descărcări parțiale și perturbații radio introdus de echipamentul electric.

Acest laborator va putea aborda în același timp problemele de cercetare privind dezvol-

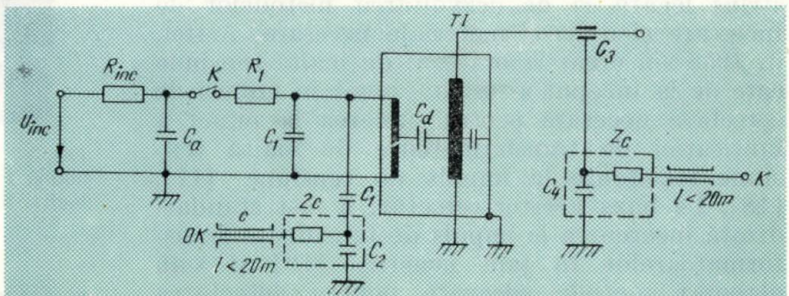


Fig. 19. Utilizarea transformatorului supus încercării pentru producerea prin inducție a supratensiunii de comutație (schema de principiu).

tarea și diversificarea producției de echipament electric de înaltă tensiune.

4. Concluzii

Fabricația de transformatoare la uzina Electroputere Craiova s-a dezvoltat în ritm înalt atît privind volumul de producție cît și în direcția creșterii caracteristicilor și performanțelor tehnice. Întreg necesarul de transformatoare pentru electrificarea țării, inclusiv cele mai mari unități, este astăzi asigurat fără a se apela la import. Pe de altă parte cantități mari de transformatoare fabricate de uzina Electroputere funcționează în peste 20 țări din Asia, Africa, Europa și America.

Progresele înregistrate în domeniul fabricației de transformatoare mici și mari au la bază o intensă activitate de studiu, cercetare, concepție constructivă și tehnologică și se poate aprecia că s-a ținut pasul cu dezvoltarea pe plan mondial a fabricației de transformatoare avînd în anumite domenii lucrări originale și concepție proprie care depășesc nivele atinse de alte firme.

S-a ajuns în domeniul transformatoarelor de mare putere a se realiza unități la limita gabaritului de trecere al căilor ferate și prin noua fabrică de transformatoare mari, care va fi dată în funcțiune în acest an, se creează condițiile de a se realiza transformatoarele solicitate de puteri foarte mari.

Dimensiunile noii hale de montaj transformatoare mari, posibilitățile de ridicare, dotarea fabricației cu utilaje moderne, fluxurile tehnologice bine studiate laboratorul modern și baza de cercetări creează premisele ca fabricația de transformatoare de la uzinele Electroputere să se situeze la nivelul firmelor promotoare de progres în acest domeniu.

Bibliografie

[1] *Cîrstea, D., Stanciu, V., Landau, H.* și *Ogrezeanu, St.* Cercetări experimentale în domeniul verificării rezistenței transformatoarelor de putere la scurtcircuit. În: Comunicări tehnice Electroputere, decembrie 1963.

[2] *Cîrstea, D., Ogrezeanu, St.* și *Stanciu, V.* Verificarea stabilității termice și dinamice a transformatoarelor și aparatajului electric. Institutul de documentare tehnică (31—1645), București, 1964, 123 p. și 100 fig.

[3] *Cîrstea, D., Cojocaru, I., Gaciu, C., Ogrezeanu, St., Stanciu, V.* și *Toma Gh.* Studii privind stabilitatea termică și dinamică a transformatoarelor la scurtcircuit brusc. În: Energetica, nr. 1, 1965.

[4] *Cîrstea, D.* Sonde pentru măsurarea cîmpului magnetic în transformatoare. În: Comunicări tehnice Electroputere, decembrie 1963.

[5] *Cîrstea, D.* Determinarea experimentală a forțelor axiale în transformatoarele de putere. În: Electrotehnica, nr. 7, 1964.

[6] *Cîrstea, D.* Studiul repartiției forțelor axiale în transformatoarele de putere. În: Electrotehnica, nr. 10, octombrie 1967.

[7] *Apetrei, C.* și *Bălă, C .* Calculul și determinarea experimentală a forțelor axiale de scurtcircuit brusc la transformatoarele de putere. În: Electrotehnica nr. 8, august 1962, p. 285—294.

[8] *Bălă, C.* și *Apetrei, C.* Reducerea forțelor electrodinamice de scurtcircuit la transformatoarele cu înfășurări cilindrice stratificate. În: Studii și cercetări de energetică și electrotehnică. București, Editura Academiei, tom. **14**, nr. 3, 1964, p. 521—531.

[9] *Pănoiu, A.* Măsurarea forțelor axiale în transformatoare cu ajutorul traductoarelor tensometrice rezistive. În: Comunicări tehnice Electroputere, nr. 4, 1967, p. 62—69.

[10] *Cîrstea, D.* Asupra standardizării încercării la scurtcircuit brusc a transformatoarelor de putere. În: Standardizarea, nr. 1, 1965.

[11] *Cîrstea, D., Ambrozie, C., Udangiu, Gh.* și *Truță, C.* Încercarea transformatoarelor. Încercări funcționale, vol. II. București, Editura tehnică, 1967.

[12] *Rarinca, O.* Stație de încercare la putere de rupere a separatoarelor de sarcină. În: Comunicări tehnice Electroputere, nr. 4, 1967, p. 83—854.

[13] *Ambrozie, C.* Utilizarea modelării transformatoarelor de putere pentru studierea comportării la impuls de tensiune. Partea I. În: Comunicări tehnice Electroputere, decembrie 1963.

[14] *Ambrozie, C.* Utilizarea modelării transformatoarelor de putere pentru studierea comportării la impuls de tensiune. Partea a II-a. În: Comunicări tehnice Electroputere, nr. 3, 1964.

[15] *Máthé, B.* și *Răducan. I.* Studiul repartiției tensiunii de impuls pe înfășurările serie-paralel ale autotransformatoarelor cu borna de intrare la mijlocul înfășurării. În: Electrotehnica, nr. 9, septembrie 1968, p. 351—356.

[16] *Máthé, B., Răducan, I.* și *Klincsek, I.* Calculul solicitării izolației transformatoarelor de înaltă tensiune și mare putere cu borne de intrare la mijlocul înfășurării. În: Electrotehnica, nr. 1, ianuarie, 1969, p. 18—24.

[17] *Căpraru, F., Costina, D., Cîrstea, D., Marx, A.* și *Máthé, B.* Încercările transformatoarelor de forță la impuls de tensiune. În: Electrotehnica 6, nr. 8, 1958, p. 291—302.

[18] *Costina, D., Marx, A.* și *Máthé, B.* Studii experimentale privind nivelul de izolație la impuls de tensiune a seriei noi de transformatoare de 110 kV. În: Electrotehnica 7, nr. 11, 1959, p. 388—395.

[19] STASS 3035—61, 65. Încercarea transformatoarelor de putere.

[20] *Máthé, B.* O metodă de defectoscopie a izolației transformatoarelor. În: Comunicări tehnice Electroputere, nr. 1, 1963, p. 22—27.

[21] *Máthé, B., Costina, D.* și *Marinescu, A.* Încercarea transformatoarelor. Încercarea izolației, vol. I. Editura tehnică, 1966.

[22] *Máthé, B.* și *Marinescu, A.* Metode și utilaje de măsurare a tensiunilor înalte de impuls, utilizate la Electroputere și studii pentru ridicarea preciziei acestora. În: Comunicări tehnice, Electroputere, mai 1965, p. 30—38.

[23] *Costina, D., Marinescu, A., Máthé, B.* și *Stanciu, V.* Cercetări experimentale privind încercarea transformatoarelor de putere la unda de impuls tăiată. În: Comunicări tehnice Electroputere decembrie 1963 p. 7—14.

[24] *Costina, D.* și *Marinescu, A.* Dispozitive de sincronizare pentru instalații de impuls de tensiune. Calcul și construcție. În: Electrotehnica **13**, nr. 4, aprilie, 1965, p. 139—150.

[25] *Marinescu , A.* Dispozitiv electronic pentru declanșarea în fază a generatorului de impuls de tensiune. În: Comuncări tehnice, Electroputere, nr. 4, 1967, p. 90—91.

[26] *Marinescu, A.* Divizor capacitiv pentru 1 000 kV. În: Comunicări tehnice Electroputere, nr. 4, 1967, p. 76—78.

[27] *Máthé, B., Costina, D.* și *Marinescu, A.* Încercarea izolației transformatoarelor cu înaltă tensiune continuă. IDT, 1964, 33 pag.

[28] *Máthé, B., Marinescu, A.* și *Costina, D.* Încercarea izolației transformatoarelor de putere și de măsură cu tensiune înaltă alternativă. IDT, 1964, 120 pag.

[29] *Marinescu, A.* și *Costina, D.* Dispozitiv de sincronizare pentru instalațiile de impuls de tensiune. IDT, 1966, 45 p.

[30] *Marinescu, A.* și *Popescu, S.* Ciclul de istereză al nivelului de descărcări parțiale — indiciu asupra stării izolației transformatoarelor. În: Electrotehnica **16**, nr. 2, februarie 1968, p. 41—48.

[31] *Marinescu, A.* Producerea supratensiunilor de comutație prin inducție electromagnetică în transformatorul de încercat. În curs de publicare în Comunicări tehnice Electroputere, nr. 5, 1969.

Dezvoltarea industriei de cabluri și conductoare din Republica Socialistă România

HERO AREȘTEANU și MARIA MIHĂESCU * — București

CZ 621.315.2:621.312

Industrializarea impetuoasă a țării noastre a necesitat și o sporire foarte rapidă și o mare diversificare a industriei de cabluri și conductoare. Complet neglijată în trecut această subramură s-a dezvoltat în mod deosebit în special în actualul plan cincinal o dată cu dezvoltarea foarte rapidă a industriei electrotehnice. În anul 1970 valoarea mijloacelor fixe a fabricației de cabluri va fi de 6,4 ori mai mare decît în 1960 și de 3,3 ori mai mare decît în 1965. Producția care în 1970 va fi de 2,7 ori mai mare decît în 1965, acoperă în prezent nevoile și diversele cereri ale Economiei Naționale în proporție de 96%. Importul de cabluri și conductoare, care greva cu pondere importantă balanța de comerț exterior, a scăzut continuu, în acest an importîndu-se aproximativ 4% din valoarea necesarului față de 30—35% cît se importa în 1960. În același timp s-a început din 1961 un export de cabluri și conductoare care sporește an de an.

Producția de cabluri și conductoare axate pe aplicarea tendințelor tehnicii moderne poate fi considerată atît din punct de vedere al dotării și al nivelului tehnic cît și al calității la nivelul industriilor celor mai moderne. Noile fabrici de cabluri telefonice, de cabluri de forță, trăgătoriile de cupru și aluminiu, noua secție de conductoare în cauciuc, toate de la F.C.M.E., precum și noua secție de conductoare în mase plastice de la Fabrica de conductoare din Tîrgu-Mureș, concepute și dotate cu utilaje la nivelul tehnicii actuale, realizează un nomenclator care a sporit foarte mult și care acoperă nevoile industriei energetice, telecomunicațiilor, ale industriei electrotehnice, electronice și de automatizări, ale industriei construcțiilor, participînd la realizarea lucrărilor de investiții și la nevoile de consum.

Progresul tehnic se manifestă și prin dotarea cu mașini și instalații, prin folosirea de procese tehnologice moderne de mare productivitate și de materiale noi. Acest progres s-a realizat prin folosirea, atît a concepției proprii, cît și unor licențe și importuri complexe.

Fabrica nouă de cabluri telefonice folosește extrudere de mase plastice rapide cu control automatizat cu o viteză de izolare prin extrudere pînă la 200 m/min, cableze rapide multiple, prese de plumb cu viteza pînă la 50 m pe oră. Fabrica produce cabluri urbane pînă la 1200 perechi, cabluri interurbane și rurale, cabluri de centrală încadrîndu-se în normele și exigențele cele mai actuale.

Noua fabrică de cabluri în mase plastice care va produce 10 000 km pe an, noile trăgătorii de cupru și aluminiu care vor trefila anual 23 mii t sînt dotate cu cele mai moderne utilaje.

Din numeroasele cazuri de dotare și tehnologii foarte avansate mai exemplificăm trefiloarele cu recoacere continuă cu o capacitate de trefilare de 18—20 t/zi, cablezele foarte rapide, instalațiile de vulcanizare continuă în flux cu operațiile de izolare, extruderile de mare randament folosite la aproape toate sortimentele, controlul automatizat.

Un rol important în dezvoltarea industriei de cabluri și conductoare l-a avut autoutilarea dezvoltată în mod concret și foarte rapid în fabricile de la București și Tîrgu-Mureș. Este suficient să menționăm că s-au proiectat în uzine și executat în atelierele de autoutilare utilaje complexe ca mașini de înfuniat, extrudere de mase plastice, instalații de control și că la toate furniturile complexe din exterior a existat o importantă participare a atelierelor de autoutilare. Producția de utilaje și instalații din cele două ateliere de autoutilare depășește în acest an 20 mil. lei și fabrica de la Tîrgu-Mureș este dotată în proporție de 50—60% cu utilaje, realizate în autoutilarea proprie.

O îmbunătățire importantă în această tehnică a adus-o dezvoltarea unor noi materiale izolante sintetice care au înlocuit cu succes,

* Ing. *H. Arești eanu* este director tehnic la D.G.M.E.E. din M.I.C.M. iar Maria Mihăescu este inginer principal la D.G.M.E.E. — serv. tehnic.

vechile materiale izolante — hîrtia și cauciucul. Factorul principal care a contribuit la folosirea maselor plastice în industria de cabluri a fost necesitatea fabricării unor cabluri mai ieftine, cu o construcție simplificată, cu greutăți reduse și cu siguranță mai mare în exploatare.

Cablurile în masă plastică au înlocuit cu succes cablurile electrice izolate cu hîrtie impregnată care prezintă în general o serie de neajunsuri generate de scurgerea masei de impregnare de-a lungul conductoarelor, precum și cablurile în cauciuc, care sînt supuse fenomenului de îmbătrînire datorită acțiunii oxigenului din aer.

Astfel, în Europa începe, încă din 1940 înlocuirea instalațiilor de cauciuc, hîrtie și a mantalelor de Pb și aluminiu cu mantale de protecție din PVC — care au o rezistivitate de volum, rezistivitate dielectrică și constantă dielectrică mai bune. Proprietățile lor mecanice deosebite (rezistența și alungirea la rupere, absorbția redusă de apă, duritatea, stabilitatea la acțiunea diferiților agenți chimici) le-au făcut apte spre a fi utilizate ca învelișuri de protecție la cabluri și conductoare.

La ora actuală, datorită proprietăților sale dielectrice și mecanice, PVC-ul este considerat ca un izolant major — fiind utilizat la izolația și protecția cablurilor de forță pînă la 10 kV, la cablurile telefonice și la conductoare de interior.

Un alt material care s-a impus în ultima vreme — ca material de izolație a fost polietilena. În prezent, polietilena reticulată sau clorosulfanată se utilizează ca izolație în construcția cablurilor de medie și înaltă tensiune pînă la 60 kV, cît și pentru rețelele aeriene de joasă tensiune. În domeniul cauciucurilor s-au făcut, de asemenea, progrese importante. Cauciucul butadien-stiren, cu performanțe reduse din punct de vedere al rezistenței la solvenți, uleiuri și flacără cu rezistența mecanică oarecum scăzută, a fost înlocuit, în funcție de necesități cu cauciuc butilic, cauciuc siliconic și cauciuc etilen profilenic.

Dezvoltarea industriei de avioane a centralelor atomice, și a altor instalații cu regim de ucru deosebit de greu, a dus la necesitatea elaborării unor izolații rezistente la temperaturi înalte atît din mase plastice — teflon, silicon, cît și din materiale minerale.

O altă tendință care se manifestă în industriile de cabluri din lume este aceea de înlocuire a conductoarelor de cupru — cu conductoare de aluminiu — soluție adaptată atît pentru cablurile de joasă cît și de înaltă tensiune.

Înlocuirea mantalei de plumb clasic cu mantale de protecție de aluminiu, se dovedește a fi, de asemenea, deosebit de rentabilă, dacă este asociată cu folosirea conductoarelor de aluminiu în rețelele de joasă tensiune.

Din punct de vedere al formei conductoarelor, utilizarea aluminiului a permis construcții cu conductoare masive.

Toate aceste considerente de ordin tehnic și tehnologic au stat la baza programului de dezvoltare și s-au aplicat în industria de cabluri din țara noastră.

În cadrul Fabricii de cabluri și materiale electroizolante — se realizează conductoarele în cauciuc pînă la tensiunea de 1 kV, — destinate instalațiilor fixe sau mobile, echipării mașinilor electrice, aparatului de uz casnic, ascensoarelor, navelor etc. În general — se utilizează ca material izolant, cauciucul butadien stirenic sau cloroprenic. În vederea adaptării unor izolații superioare, capabile să satisfacă cerințele mereu crescînde ale industriei electrotehnice, s-a prevăzut dotarea secției de conductoare cu utilaje de mare productivitate, cu posibilitatea de realizare a vulcanizării în flux continuu și folosirii de cauciucuri speciale sau de mase plastice reticulabile. Cu aceste utilaje se vor realiza conductoare speciale pentru echipamentul electric al locomotivelor LE și LDE — conductoare capabile să reziste la temperaturi de lucru peste 100°C care să prezinte rezistențe mecanice ridicate și comportare bună la uleiuri și solvenți și care să corespundă normelor internaționale U.I.C.

Grupa conductoarelor de conexiuni pentru mașini electrice va fi realizată tot pe aceste utilaje moderne utilizînd soluții constructive bazate pe materiale izolante de clasă de izolație ridicată și cu caracteristici fizico-mecanice superioare.

Un pas important în dezvoltarea sortimentelor de conductoare în mase plastice s-a făcut în construcția conductoarelor de branșamente aeriene, unde în locul izolației din țesătură de bumbac și vopsea de miniu de plumb

s-a aplicat o izolație din PVC. În prezent, se preconizează realizarea unui pas și mai avansat, prin introducerea polietilenei ignifugate în locul PVC-ului.

Din punct de vedere constructiv, se analizează, în vederea introducerii în fabricație, realizarea unor conductoare de branșamente, torsadate împreună cu unu sau două conductoare destinate iluminatului — conductorul neutru fiind în același timp și conductor de susținere, realizat dintr-un aliaj special de aluminiu. Această construcție permite traversarea străzilor sau a spațiilor goale fără să se mai recurgă la cablurile auxiliare de susținere.

În domeniul conductoarelor pentru aparate telefonice și al conexiunilor în automatizare, ridicarea nivelului tehnic s-a manifestat prin realizarea conductoarelor de telefon spiralate și a conductorului bandă policrom, pentru conexiuni.

O realizare importantă este aceea a fabricării firelor leonice în țară, în cadrul fabricii de conductoare din Tîrgu-Mureș.

Sortimentul de cablu pentru antene de televiziune și radio, pentru microfoane și de alte tipuri de conductoare speciale destinate industriei construcțiilor de aparate de radio și televiziune au fost fundamental reproiectate, obținîndu-se performanțe de atenuare și de impedanță la nivelul tehnicii mondiale.

Dezvoltarea industriei construcției de automobile și tractoare a impus asimilarea în fabricație a unui sortiment larg de cablaje destinate echipamentului electric al acestora. În prezent, se realizează cablaje electrice izolate în mase plastice pentru autoturisme Dacia și tractoarele Fiat de 40 CP.

Un ultim domeniu în care s-au făcut, de asemenea, progrese importante este acel al conductoarelor destinate industriei construcțiilor. În special în domeniul conductelor de instalații se utilizează aluminiul izolat în PVC. Din această grupă fac parte conductoarele tip INTENC, destinate racordurilor electrice în locuințe, conductoarele de sonerie, conductoarele pentru instalațiile de uz casnic etc.

Se poate afirma că sortimentul de cabluri și conductoare care se realizează în prezent la noi în țară, acoperind majoritatea necesităților sortimentale interne, rezolvă eficient și la nivel tehnic mondial cerințele industriei electrotehnice.

În studiile și prevederile de dezvoltare a industriei electrotehnice un loc important îl deține în continuare producția de cabluri și conductoare. Noile fabrici de cabluri de forță, conductoare emailate, conductoare în cauciuc, vor asigura în afara nevoilor interne și mari posibilități de export. Fabricarea cablurilor de forță în mase plastice de 6 și 10 kV, a conductoarelor speciale pentru locomotive electrice, a conductoarelor emailate pentru transformatoare sînt cîteva din sortimentele care vor trebui asimilate în 1969—1970. Introducerea mantalelor de aluminiu la cabluri, sporirea tensiunilor, a secțiunilor, frecvențelor și în continuare o largă diversificare a sortimentelor va trebui să lărgească în anii următori sfera de activitate a colectivelor uzinelor, pentru a putea ține pasul cu tehnica actuală și nevoile economiei.

Preocupări în diversificarea materialelor electroizolante

ION MACĂU* — București

CZ 621.315.6 : 621.312

Este cunoscut că în ultima perioadă industria electrotehnică s-a bucurat de o atenție deosebită din partea conducerii de partid și de stat, a țării noastre. Astfel, în cincinalul în care ne aflăm au fost alocate importante fonduri de investiții pentru dezvoltarea acestui sector al economiei noastre naționale.

Un aport însemnat în diversificarea produselor electrotehnice, în realizarea unor produse cu calități și performanțe ridicate și domeniu larg de utilizare, o au materialele electroizolante folosite.

În această ordine de idei colectivului fabricii de cabluri și materiale electroizolante i-au revenit sarcini deosebite. Astfel, în primii trei ani ai cincinalului s-au asimilat și dat în fabricație 61 de tipuri de materiale electroizolante cu caracteristici la nivelul tehnicii actuale (tabela 1).

Tabela 1

Perioada	Produse asimilate pe clase de izolație						Total
	A 105°C	E 120°C	B 130°C	F 155°C	H 180°C	C peste 180°C	
1966—1968	—	10	25	16	9	1	61

În atenția colectivului nostru a stat în permanență realizarea de materiale electroizolante de clasă superioară de izolație E, B, F și H, contribuind prin aceasta la obținerea de importante economii în întreprinderile constructoare de mașini electrice, precum și în uzinele utilizatoare a acestor mașini, prin:

— reducerea pierderilor cu 14% în mașinile construite cu materiale electroizolante de clasă superioară de izolație F și H față de aceleași mașini care folosesc materiale din clasa A de izolație;

— creșterea puterii motorului scăzînd greutatea raportată la putere (de exemplu: la un motor de 30 kW 1 500 rot/m și 380 V, folosirea materialelor electroizolante de clasă H de izolație în loc de clasă A, duce la creșterea puterii motorului cu 40% și scăderea greutății de la 11,7 kg/kW la 8,1 kg/kW);

— folosirea clasei de izolație H în loc de A în construcția motoarelor electrice între 1—100 CP, a generatoarelor electrice pînă la 1 000 kW și a transformatoarelor pînă la 5 000 kVA se obțin importante reduceri de gabarit și greutate (tabela 2).

Tabela 2

Tipuri de produse	Reduceri	
	greutate	volum
— Motoare electrice de la 1 pînă la 100 CP	20—25%	30—35%
— Generatoare pînă la 1 000 kW	35%	40%
— Transformatoare pînă la 5000 kVA	22%	50%

Dacă la aceste economii se mai adaugă reducerea cheltuielilor de transport (prin reducerea gabaritului și greutății), a cheltuielilor de investiții (prin micșorarea dimensiunilor fundației și a suprafeței de montaj) ne putem face o imagine mai clară asupra eficacității economice a folosirii în construcția de mașini electrice a materialelor electroizolante de clasă superioară de izolație.

Avîndu-se în vedere economiile importante obținute cît și domeniile speciale de funcționare a unor utilaje și mașini electrice (ca temperaturi înalte și joase, atmosferă nocivă, diferiți agenți chimici, exploatarea sub apă etc.), colectivul întreprinderii noastre a reușit în perioada anilor 1961—1968 să asimileze un număr de 120 de produse de clasă superioară de izolație (tabela 3).

Tabela 3

Perioada	Produse asimilate pe clase de izolație						Total
	A 105°C	E 120°C	B 130°C	F 155°C	H 180°C	C 180°C	
— Pînă în 1960	17	14	18	—	—	—	49
—1961—1968	2	20	40	30	28	2	122
Total —	19	34	58	30	28	2	171

În vederea preîntîmpinării unor greutăți în siguranța funcționării aparatajului electrotehnic, greutăți ce apar datorită supunerii izolației în timpul exploatării la acțiunea cîmpului electric, încălzirii, eforturilor mecanice, temperaturii scăzute etc., sectorul de materiale electroizolante a fost dotat cu aparatura necesară determinării îmbătrînirii termice a dielectricilor, ceea ce i-a permis să studieze comportarea la îmbătrînire termică de lungă durată, a unei serii de materiale, atît individual, cît

* Ing. *I. Macău* este directorul Fabricii de cabluri și materiale electroizolante.

și ca elemente componente ale unor scheme complete de izolație.

Dezvoltarea impetuoasă a industriei electrotehnice, complexitatea produselor electrotehnice, creșterea performanțelor acestora, a determinat analizarea și îmbunătățirea de către specialiștii întreprinderii noastre și a altor caracteristici ale izolației electrice, ca de exemplu:

— mărirea rezistenței la șoc mecanic și termic;
— mărirea rezistenței față de agenții chimici, atmosferici (inclusiv umiditate) și față de bacterii;
— mărirea conductibilității termice;
— mărirea elasticității filmelor de lac;
— reducerea solvenților nocivi și rău mirositori prin trecerea la rășini fără solvenți volatili.

Tipuri de materiale electroizolante asimilate de F.C.M.E.

Lacuri electroizolante. În prezent se produc la F.C.M.E. lacuri electroizolante de impregnare, acoperire, încleiere, pentru funcționare pînă la 130°C. Lacul C. 51-M (ALM) are utilizări generale ca lac de impregnare în industria electrotehnică și se consumă în cantități apreciabile. O variantă îmbunătățită a lacului C.51-M o reprezintă lacul C.53-A utilizat pentru impregnarea micromotoarelor.

Dintre lacurile de acoperire se remarcă emailurile pigmentate CA.61-M (cu uscare la cuptor) și AA.62-M (cu uscare la aer) care constituie variante îmbunătățite ale emailurilor SPD și SVD.

În ultimii ani, cercetarea proprie a fost îndreptată spre realizarea de lacuri poliesterice saturate pentru funcționare pînă la 155°C. Au fost realizate în fază de laborator lacuri de emailare poliesterimidice, poliestertereftalice și lacuri de încleiere poliesterice, care se vor fabrica pe noile instalații cu care va fi dotată întreprinderea noastră. Trebuie scoase în evidență și o serie de lacuri și rășini electroizolante, asimilate sau studiate în vederea asimilării în țară, de către institutele și întreprinderile din cadrul M.I.Ch., cum ar fi: rășini epoxidice pentru turnare și impregnare, rășini poliesterice nesaturate pentru fabricarea materialelor stratificate, emailuri polivinil formal și poliuretanice pentru emailarea conductoarelor de bobinaj. Într-un viitor apropiat vor fi asimilate în fabricație la F.C.M.E. tipuri noi de lacuri poliesterice de impregnare și acoperire pentru funcționarea la temperaturi pînă la 155°C.

Izolații flexibile. În afară de izolațiile flexibile tradiționale pe bază de țesături textile și lacuri uleioase, în ultimii ani au fost asimilate noi tipuri dintre care unele cu temperatura de funcționare pînă la 180°C. Remarcăm în acest sens: benzi și țesături de terilenă lăcuite (cu alungire superioară la benzile tăiate drept și temperatura de funcționare pînă la 120°C), benzi și țesături de sticlă lăcuite (cu temperatura de funcționare pînă la 130°C), benzi și țesături lăcuite cu rășini și cauciucuri siliconice (cu temperatura de funcționare pînă la 130°C) tuburi flexibile din fire de sticlă impregnate cu lacuri poliesterice (cu temperatura de funcționare pînă la 155°C) și tuburi flexibile din fire de sticlă impregnate cu rășini și cauciucuri siliconice (cu temperatura de funcționare pînă la 180°C).

Ca izolații de crestătură și izolații între straturi au fost asimilate o serie de izolații combinate, flexibile, dintre care mai importante sînt: izolații combinate pe bază de preșpan și folie poliesterică tipuri PHP și PH, cu temperatura de funcționare pînă la 120°C, izolații combinate pe bază de țesătură de sticlă impregnată și folie poliesterică, tip HSH, cu temperatura de funcționare pînă la 130°C, o gamă întreagă de micanite flexibile cu diverse suporturi (hîrtie, preșpan, mătase naturală, folie poliesterică, țesătură de sticlă) pentru temperaturi de funcționare de 120°C, 130°C, 155°C și 180°C, dintre care ponderea cea mai mare în construcția de mașini electrice o au micanita flexiblă HMH (folie poliesterică — micanită — folie poliesterică) și izolația combinată HSH (folie poliesterică — țesătură de sticlă impregnată — folie poliesterică). În prezent cercetarea la F.C.M.E. este axată pe studierea unor tipuri noi de izolații combinate cum ar fi cele pe bază de azbest și folie poliesterică, cele pe bază de filț poliesteric și folie poliesterică și o gamă întreagă de micanite flexibile pe bază de hîrtie de mică și diverse suporturi.

De asemenea, într-un viitor apropiat vor fi create condiții pentru fabricarea și livrarea izolațiilor combinate în lungimi continui.

Materiale stratificate — presate. Cerințele din ce în ce mai mari ale industriei electrotehnice din țara noastră în domeniul materialelor stratificate-presate au determinat producția de materiale stratificate-presate să se diversifice în ultimii ani, reușindu-se să se asigure șapte tipuri de produse stratificate pe bază de hîrtie și rășini sintetice sub formă de plăci (izoplac). Caracteristicile și domeniile de utilizare sînt redate în tabela 4.

De asemenea F.C.M.E. asigură o gamă largă de materiale stratificate în plăci pe bază de țesături de sticlă și rășini sintetice. În tabela 5 sînt date tipurile și caracteristicile principale ale acestor produse.

Din grupa de materiale stratificate, la F.C.M.E. se mai fabrică cilindrii de hîrtie pentru construcția transformatoarelor și aparatajului electric de joasă și înaltă tensiune, cilindrii din sticlotextolit E și o gamă variată de produse fasonate (bare din textolit și o

Tabela 4

Caracteristicile tehnice medii ale produsului „Izoplac"

Denumirea caracteristicii	Izoplac 1 10 mm	Izoplac 2 10 mm	Izoplac 3 10 mm	Izoplac 4 10 mm	Izoplac 5 3 mm	Izoplac 6 1,5 mm	Izoplac 7 10 mm
Greutatea specifică, g/cm³	1,328	1,350	1,350	1,252	1,365	1,363	1,26
Stabilitatea termică la menţinerea în ulei de transformator timp de 4 ore la 130°C	—	*	*	—	—	—	*
Stabilitatea termică după menţinerea în ulei de transformator timp de 10 min la 155°C	—	—	—	*	—	—	—
Absorbţia de apă, %	1,72	1,65	1,06	0,55	—	1,06	0,88
Stabilitatea termică, Martens°C	125	125	150	125	—	—	—
Rezistenţa la încovoiere, kgf/cm²	1 485	1 390	1 520	906	—	—	1 450
Stabilitatea la încălzire la temperatura de :	115	125	120	120	120	120	120
Rezistenţa la tracţiune kgf/cm²	1 128	1 115	1 360	816	1 065	885	1 350
Rezistenţa la despicare, kgf	315	295	310	272	—	—	130**
Rezistenţa la şoc, kgf/cm²							
— fără crestătură	235	27,3	30	18,6	—	—	33
— cu crestătura perpendiculară pe straturi	13,7	15,3	—	9,67	—	—	—
— cu crestătura paralelă cu straturile	10,6	7,9	—	12,2	—	—	—
Duritatea Brinell, kgf/mm²	26,5	32,8	25,8	29	—	—	—
Rezistivitatea de volum, Ω cm							
— în condiţii normale	2.10^{12}	$5{,}8.10^{12}$	$1{,}5.10^{12}$	2.10^{12}	$1{,}3.10^{13}$	$1{,}4.10^{14}$	1.10^{13}
— după meţinere 24 h de la 95% U.R.	—	—	$1{,}5.10^{10}$	7.10^{11}	2.10^{11}	—	—
— după menţinere 24 h în apă	—	—	—	—	—	$3{,}1.10^{10}$	1.10^{10}
Rezistivitatea de suprafaţă, Ω							
— în condiţii normale	$2{,}5.10^{12}$	3.10^{12}	5.10^{12}	9.10^{13}	1.10^{11}	$1{,}2.10^{12}$	1.10^{13}
— după menţinere 24 h la 95% U.R.	—	—	6.10^{9}	$1{,}5.10^{10}$	$5{,}2.10^{10}$	$7{,}9.10^{10}$	—
— după menţinere 24 h în apă	—	—	—	—	—	$1{,}6.10^{10}$	1.10^{10}
Rezistenţă între fişe, Ω							
— în condiţii normale	3.10^{12}	$1{,}7.10^{12}$	2.10^{11}	$1{,}5.10^{12}$	—	—	—
— după menţinere 24 h la 95% U.R.	—	—	—	$3{,}5.10^{10}$	—	—	—
Încercare la tensiune timp de 5 min, kW :							
a) perpendicular pe straturi la 20°C, în ulei							
— grosimea de 1 mm	16	25	30	16	16	—	—
— grosimea de 2 mm	30	43	50	30	30	—	—
— grosimea de 3 mm	40	56	60	40	40	—	—
b) perpendicular pe straturi la 90°C, în ulei							
— grosimea de 1 mm	—	12	17	6	—	—	—
— grosimea de 2 mm	—	22	32	11	—	—	—
— grosimea de 3 mm	—	28	40	15	—	—	—
c) în direcţia straturilor D = 30 mm, în ulei							
— la temperatura de 20°C	15	25	—	25	—	—	—
— la temperatura de 90°C	—	15	—	10	—	—	—
d) în direcţia straturilor D = 15 mm, în ulei							
— la temperatura de 20°C	—	—	16	—	—	—	—
— la temperatura de 90°C	—	—	8	—	—	—	—
Rigiditatea dielectrică, kV/mm							
— grosimea de 1 mm	—	—	—	—	—	41,6	33
Tangenta unghiului de pierderi dielectrică							
— la 50 Hz	—	0,060	0,0413	0,0325	—	—	—
— la 1 MHz	—	—	—	—	0,0365	0,0340	0,06
— la 1 MHz după 24 h în apă	—	—	—	—	—	0,0530	—
Constanta dielectrică							
— la 50 Hz	—	7,65	5,5	4,6	—	—	—
— la 1 MHz	—	—	—	—	6,60	6,65	5,4

* Corespunde
** Rezistenţa la forfecare kgf/cm²

Tabela 5

Caracteristicile tehnice ale produsului sticlotextolit

Caracteristică	Unităţi de măsură	Cu răşină melaminică	Cu răşină epoxidică		Cu răşină bachelitică		Cu răşină siliconică
		tip M	tip E	tip E_1	tip B	tip B_1	tip Si
Greutatea specifică	g/cm^3	1,6	1,67	1,71	1,77	1,71	1,63
Rezistenţa la tracţiune	kgf/cm^2	2 100	2 800	3 300	2 300	2 700	1 960
Rezistenţa la încovoiere statică	kgf/cm^2	1 700	3 100	4 300	2 900	4 000	1 500
Rezistenţa la şoc	$kgf/cm/cm^2$	45	150	200	140	150	35
Forţa de despicare	kgf	170	450	500	420	460	120
Rezistenţa la compresiune perpendicular pe straturi	kgf/cm^2	2 500	3 500	4 300	3 200	4 000	2 000
Stabilitatea termică	°C	—	190	230	185	220	120
Absorbţie de apă	%	1,3	0,7	0,3	1	0,3	0,1
Încercare la tensiune 1 minut în ulei Perpendicular pe straturi — la 20°C — la 155°C — la 180°C	kV/mm	10	15 12	15 12	12	15	12 10
Rezistivitatea de suprafaţă — condiţii normale — după 48 h la 80%	Ω	10^{11}	10^{13} 10^{11}	10^{13} 10^{12}	10^{12} 10^{11}	10^{12} 10^{12}	10^{14} 10^{13}
Rezistivitate de volum — condiţii normale — după 40 h la 80%	Ω cm	10^{11}	10^{13} 10^{12} (după 24 h în apă)	10^{13} 10^{12} (după 24 h în apă)	10^{13} 10^{12}	10^{13} 10^{12}	10^{13} 10^{13}
Tangenta unghiului de pierderi 50 Hz	—	0,05	0,02	0,02	0,04	0,03	0,006

serie de repere cu diverse profile din pertinax şi textolit).

În prezent se cercetează asimilarea stratificatelor pe bază de sticlă şi răşini poliesterice.

Produse pe bază de mică. În ultimii ani au fost asimilate tipuri noi şi au fost îmbunătăţite calitativ unele produse pe bază de mică din fabricaţia curentă. În prezent, F.C.M.E. livrează o gamă largă de mica-folii, micanite, micabenzi, conuri de micanite etc., pentru funcţionarea la temperaturi de 150°C, 155°C şi 180°C.

Actualmente cercetarea este îndreptată spre realizarea şi utilizarea produselor pe bază de hîrtie de mică în locul produselor pe bază de mică foiţă. Prin aceasta se vor realiza economii importante atît la import (prin reducerea importului de mică foiţă) cît şi în construcţia de maşini electrice (produsele pe bază de hîrtie de mică sînt mai ieftine). Fabricarea produselor pe bază de hîrtie de mică se va realiza într-o secţie nouă care este în curs de construcţie.

Conductoare de bobinaj izolate

An de an sortimentul de conductoare emailate a crescut, asimilîndu-se tipuri noi cu caracteristici superioare. Dintre acestea remarcăm : ET — conductoare rotunde din cupru izolate cu email tereftalic pentru temperaturi de funcţionare pînă la 130°C; EU — conductoare rotunde din cupru izolate cu email polieuretanic, autosudabile; EV — conductoare rotunde din cupru izolate cu email polivinilformal, pentru temperaturi de funcţionare pînă la 120°C, cu proprietăţi mecanice ridicate; EI — conductoare rotunde din cupru izolate cu email poliesterimidic, pentru temperaturi de funcţionare pînă la 155°C; PET — conductoare dreptunghiulare din cupru izolate cu email tereftalic.

În tabela 6 sînt prezentate cîteva caracteristici mai importante ale acestor conductoare emailate.

În anul 1969 se vor extinde gamele de dimensiuni între limitele 0,1—2,5 mm atît cu izolaţie simplă cît şi cu izolaţie îngroşată.

În afară de aceasta, cercetările sînt îndreptate în direcţia asimilării în ţară de noi emailuri : email polivinilformal, email poliuretanic, email tereftalic şi email poliesterimidic.

Pe lîngă conductoarele emailate, fabrica produce o gamă întreagă de conductoare izolate cu fire de sticlă pentru temperaturi de

Tabela 6

Caracteristicile medii ale unor tipuri de conductoare emailate

Caracteristici tehnice	Unităţi de măsură U/M	Conductoare emailate tip EV						tip ET					tip EI	
		Simplu			Îngroşat			Simplu			Îngroşat		Îngroşat	
		0,5	1	2	0,5	1	2	0,2	1	2	1	2	1	2
Diamentul exterior	mm	0,532	1,068	2,094	0,554	1,092	2,122	0,23	1,065	2,090	1,122	2,13	1,093	2,122
Alungire	%	24	28	33	24	28	34	25	29	34	30	35	31	36
Supleţe pe dorn Ø dorn	mm	0,5	1	2	0,5	1	2	0,6	1	2	1	2	0,9	2
Încercare la decojire — nr. de revoluţii	—	—	—	110	—	—	120	—	155	100	—	—	160	100
Şoc termic temperatură timp de 0,5 h — Ø dorn	°C mm	160— 0,5	160— 1	160— 2	160— 0,5	160— 1	160— 2	160— 0,8	160— 4	160— 12	160— 4	160— 12	160— 0,9	160— 2
Termoplasticitate	°C	170	170	170	170	170	170	240	240	240	240	240	240	240
Rezistenţa la abraziune — Ø ac — greutate — nr. curse duble minim	mm g	0,4 275 40	0,4 460 35	0,4 695 30	0,4 345 43	0,4 480 34	0,4 845 32	— — —	0,4 460 30	0,4 695 30	0,4 570 32	0,4 830 30	0,4 570 35	0,4 830 35
Rezistenţa la solvenţi — duritate creion		H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
Tensiunea de străpungere	V	2 500	3 000	3 500	3 300	4 400	5 000	1 500	3 200	3 800	4 600	5 200	4 400	500

funcţionare de 155°C şi 180°C tip 2 S şi P2S — — conductoare rotunde şi dreptunghiulare din cupru izolate cu fire de sticlă, diametrul 0,9—6 mm şi profile pînă la 80 mm²; tip E2S şi P2S — conductoare rotunde şi dreptunghiulare din cupru emailate şi izolate cu fire de sticlă, diametrul 0,9—3 mm şi profile pînă la 80 mm²; tip 2 S—Si şi P2S—Si — conductoare rotunde şi dreptunghiulare din cupru izolate cu fire de sticlă şi acoperite cu lac siliconic, diametrul 0,9—6 mm şi profile pînă la 80 mm².

În prezent se cercetează îmbunătăţirea flexibilităţii şi rezistenţei la abraziune a conductoarelor izolate cu fire de sticlă prin utilizarea, ca izolaţie, a unui amestec de fire de sticlă şi fire poliesterice.

În continuare în atenţia specialiştilor noştri cît şi a institutelor de cercetări va sta dezvoltarea, cercetarea şi diversificarea materialelor electroizolante şi a conductoarelor de bobinaj în ideea de a pune la dispoziţia constructorilor de maşini şi aparataj electric, sortimente noi de materiale electro-izolante în vederea obţinerii unor caracteristici şi performanţe superioare.

Pentru obţinerea unor rezultate cît mai bune se impun lucrări de cercetare în vederea găsirii celor mai bune tehnologii de utilizare a acestor materiale, ceea ce nu se poate realiza decît printr-o cît mai strînsă conlucrare şi colaborare între producător şi consumator.

Aparatajul electric de joasă tensiune — fabricaţia actuală şi perspective

TRAIAN CĂNESCU şi NICOLAE STATE * — Bucureşti

CZ 621.316.3/9.027.2 : 621.312

Fabricaţia de aparataj electric de joasă tensiune care se realizează de către Ministerul Industriei Construcţiilor de Maşini este concentrată în cîteva unităţi, dintre care mai importante sînt :

— Electroaparataj, întreprindere profilată pe fabricaţia de aparataj de comutare industrial şi de instalaţii ;

— U.M.E.B., care, în paralel cu fabricaţia de motoare electrice, execută şi aparatajul neautomat de pornire şi reglaj aferent acestora ;

— Electromagnetica, profilată, pe lîngă alte produse şi echipamente, pe fabricaţia de aparate electrice de măsură şi relee electromagnetice.

Ponderea cea mai mare a producţiei din domeniul aparatajului de joasă tensiune revine întreprinderii Electroaparataj (circa 85%). Aceasta produce aparataj industrial automat şi neautomat pentru distribuţie, acţionări electrice şi automatizări, aparate pentru utilizări pe maşini de ridicat şi transportat, tracţiune feroviară şi urbană, exploatări miniere, nave, precum şi aparataj pentru instalaţii interioare.

Volumul producţiei întreprinderii Electroaparataj a crescut de circa 2,5 ori în ultimii cinci ani şi se prevăd ritmuri înalte de creştere şi în anii următori.

Mare parte a sporului de producţie s-a obţinut pe seama creşterii productivităţii muncii, care în aceeaşi perioadă a crescut de circa 1,8 ori, marcînd ritmuri mai ridicate în ultimii ani.

Peste 80% din valoarea producţiei anului 1969 se realizează prin fabricarea de produse introduse în fabricaţie sau modernizate după anul 1965. Acest ritm de înoire a produselor a fost posibil datorită concentrării celor mai bune cadre tehnice în sectoarele de concepţie, prin dezvoltarea şi dotarea unor laboratoare cu instalaţii de încercări realizate prin autoutilare, dotarea în mai mare măsură a fabricaţiei cu mijloace de control şi reglaj în fluxul de fabricaţie şi de verificări finale. Pe această bază s-au putut realiza produse cu performanţe ridicate şi de nivel calitativ corespunzător tehnicii actuale.

Pe lîngă dotarea întreprinderii cu utilaje moderne, o atenţie deosebită s-a dat calificării cadrelor. Efortul în această direcţie a fost deosebit de important dat fiind că numai în cursul anului 1968, numărul muncitorilor a crescut cu circa 25%. Majoritatea acestora au fost calificaţi în şcoala profesională a întreprinderii sau direct în producţie. Calificarea cadrelor va constitui şi în viitor una din problemele importante pentru realizarea unui înalt nivel calitativ al producţiei.

În ultimii ani, necesităţile economiei naţionale nu au mai putut fi acoperite integral cu producţia internă, devenind astfel necesară dezvoltarea de noi capacităţi de producţie. În prezent întreprinderea Electroaparataj se află în plină dezvoltare. Noi hale de producţie au fost construite, iar dotarea cu utilaje moderne şi reorganizarea secţiilor de fabricaţie se desfăşoară în ritm susţinut. Astfel, au fost reorganizate şi dotate secţii ca cea de presare şi injecţie a maselor plastice, prelucrări mecanice la rece, prin aşchiere, atelierul de acoperiri de protecţie, unele secţii de montaj, atelierul de execuţie SDV.

Introducerea în fabricaţie în 1968 a unor produse cu performanţe la nivel mondial a determinat ridicarea în continuare a nivelului pregătirii tehnice a fabricaţiei, atît în ceea ce priveşte complexitatea echipării, cît şi nivelului calitativ de realizare a acesteia.

Realizarea la nivel tehnic ridicat a produselor menţionate a fost posibilă datorită eforturilor importante depuse de specialiştii întreprinderii şi colaborării fructuoase cu cei ai Institutului de proiectări uzine electrotehnice (IPET) şi ai firmei STOTZ-KONTAKT din R.F.G.

În afara produselor realizate prin concepţie proprie, întreprinderea Electroaparataj produce şi aparate fabricate sub licenţă STOTZ-KONTAKT (R.F.G.), Petercem (Franţa), ASEA (Suedia) şi Sace — Bergamo (Italia).

Dintre obiectivele mai importante, care vor fi puse în funcţiune în 1970, menţionăm staţia de încercări la puterea de rupere, a cărei capacitate va fi ridicată la 80 kA_{ef}, la 660 V.

Pentru viitor se prevede dezvoltarea de noi unităţi, ceea ce va permite restrîngerea sortimentului de fabricaţie în actuala întreprindere, realizîndu-se o specializare mai avansată a producţiei.

Referitor la fabricaţia aparatelor de măsură care se realizează la Electromagnetica, se menţionează, de asemenea, că volumul producţiei

* *T. Cănescu* este inginer şef adjunct la întreprinderea Electroaparataj, iar ing. *N. State,* la direcţia generală tehnică M.I.C.M

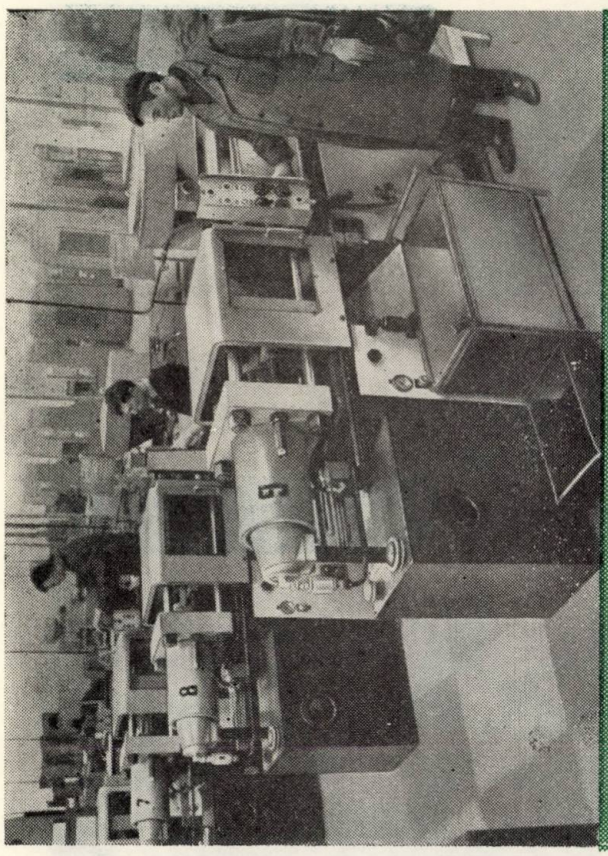


Fig. 2. Atelier mase plastice

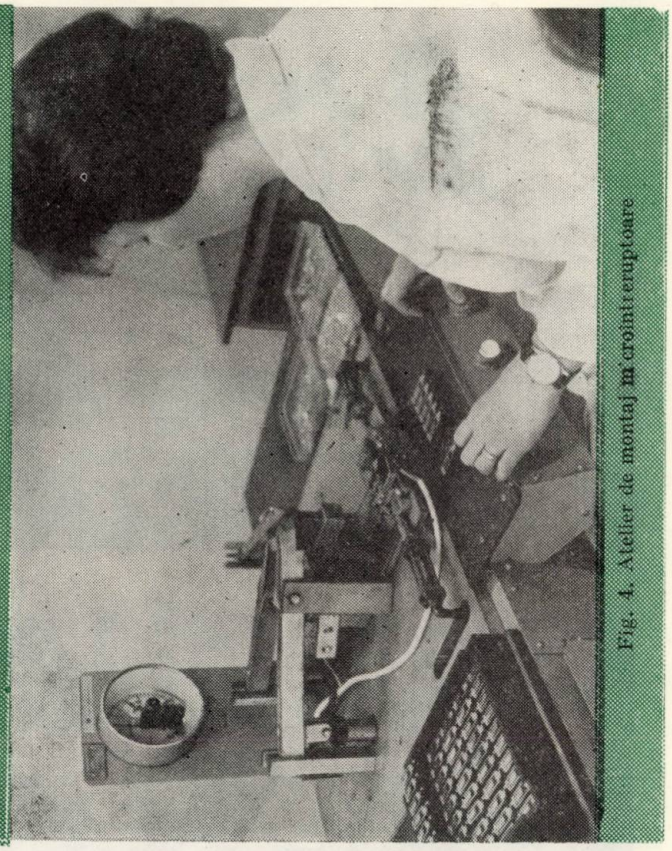


Fig. 4. Atelier de montaj microîntreruptoare

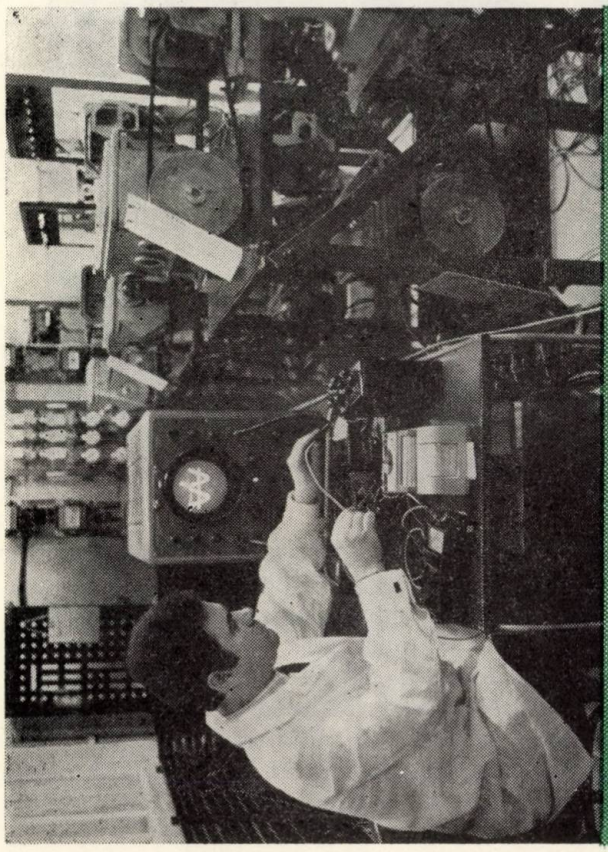


Fig. 1. Aspect din stația de încercări la uzură electrică

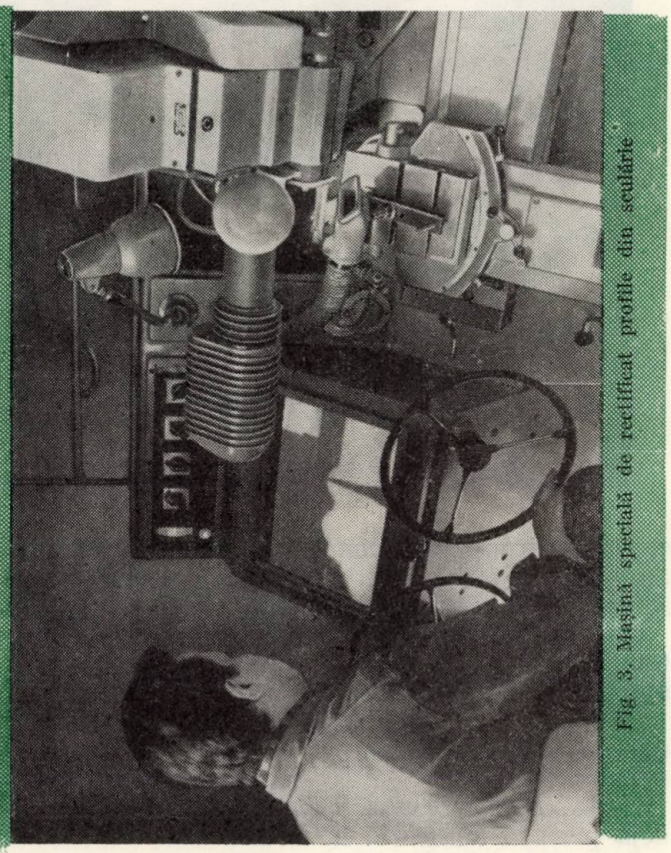


Fig. 3. Mașină specială de rectificat profile din sculărie

Fig. 5 a. Pupitru reglaj relee TSA

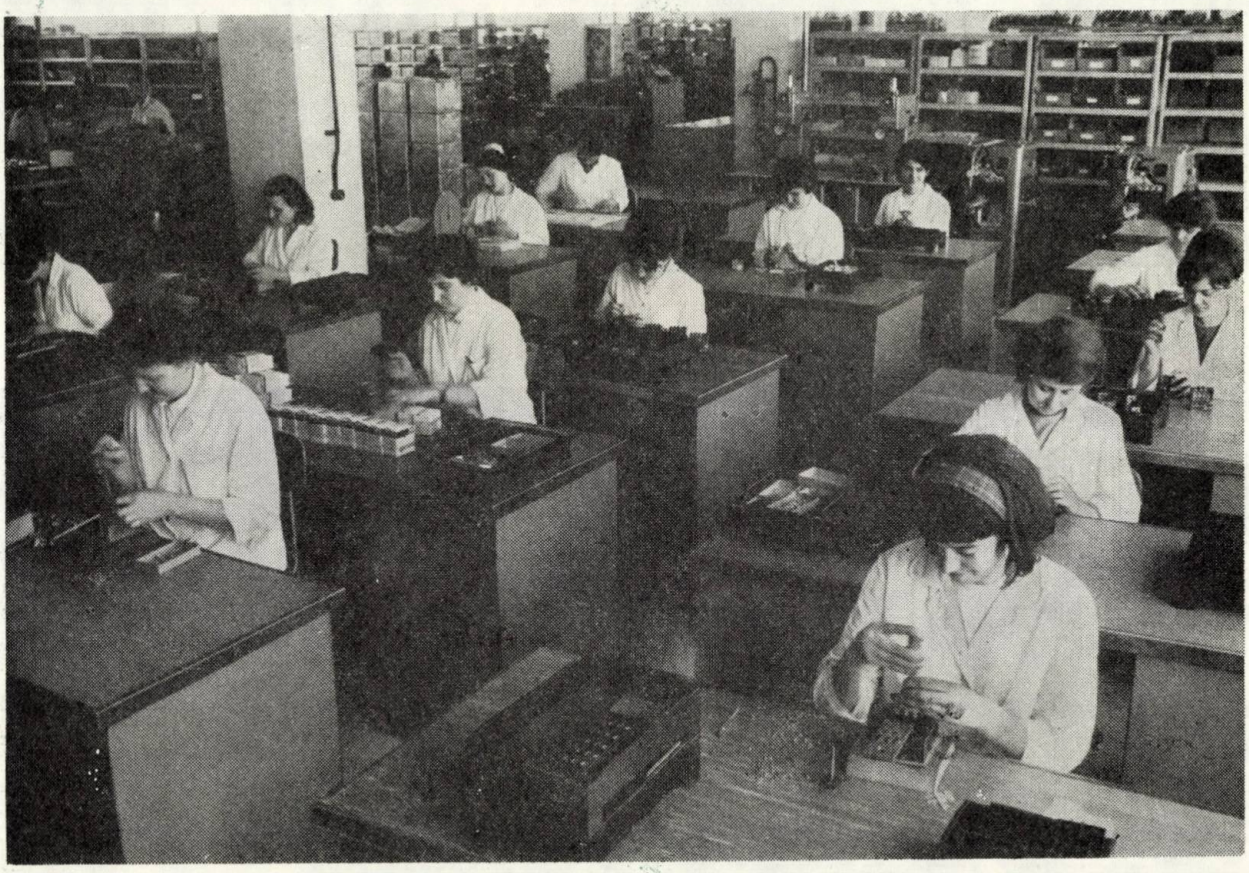


Fig. 5 b. Aspect din atelierul de montaj contactoare TCA

și sortimentele au cunoscut creșteri continue an de an. Pentru viitor se prevede organizarea fabricației într-o unitate nouă.

Se vor prezenta în continuare unele realizări tehnice recente și perspectivele pentru viitorul apropiat.

Contactoare tripolare TCA

Seria de contactoare TCA, din care au fost deja puse în fabricație mărimile de 6, 10, 32, 100 și 400 A, este destinată să înlocuiască seria de contactoare AC_3—6—200 A.

În domeniul curenților puțin intenși din schemele de automatizări și acționări speciale, pînă la valorile de 10 A, contactoarele TCA se construiesc în șase variante (TCA 6 cu și fără contacte auxiliare, TCA 10 cu și fără contacte auxiliare acționat în curent continuu sau alternativ) permițînd realizarea unui contactor de comandă în cinci variante distincte în ceea ce

privește tipul și numărul contactelor normal închise și normal deschise.

Contactoarele TCA au durata de viață mărită față de contactoarele AC_3, acest lucru fiind realizat pentru mărimile pînă la 63 A prin micșorarea maselor în mișcare, ceea ce permite o viteză mai mare de deschidere, iar la mărimile de la 100 la 400 A prin realizarea aparatelor cu mișcare combinată (electromagnetul de acționare se deplasează într-un plan perpendicular pe direcția de deplasare a echipajului mobil), fapt care micșorează vibrațiile contactelor la închidere. În acest fel s-au atins durate de viață mecanică de 10 000 000, iar electrică de 1 000 000 la 3 000 000 conectări.

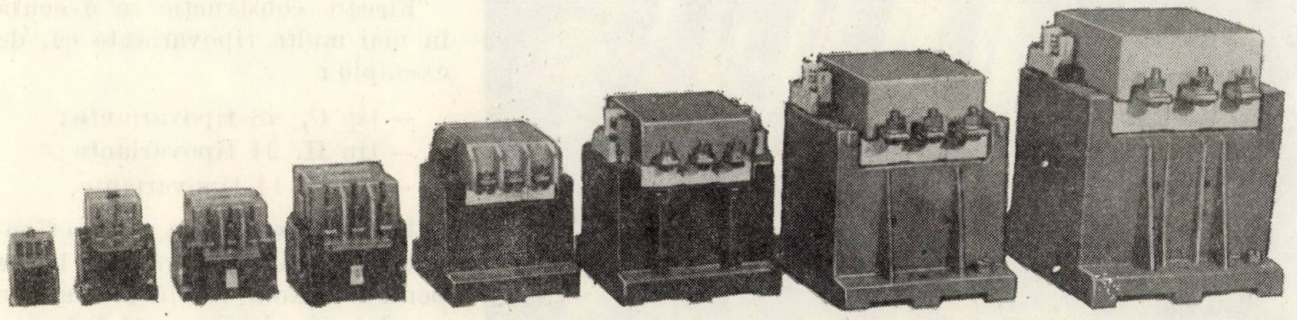


Fig. 6. Seria de contactoare TCA

De o mare importanță pentru creșterea duratei de viață electrică și mecanică, pe lîngă măsurile constructive luate, este echiparea contactoarelor cu contacte sinterizate. Astfel de contacte se realizează în cadrul întreprinderii într-o instalație realizată prin autoutilare, de un colectiv din uzină în colaborare cu Institutul Politehnic — Cluj. Elementele instalației realizate și procedeul de obținere a pulberii au caracter de originalitate.

Încercările de uzură electrică executate pe pastilele fabricate au dat rezultate bune, similare celor obținute pe pastilele din import.

Blocuri de relee termice TSA

Blocurile de relee termice sînt destinate protecției la suprasarcină și contra mersului în două faze a motoarelor electrice trifazate de curent alternativ, într-o gamă de curenți cuprinsă între 0,2 și 400 A. De la 63 la 400 A, se introduce transformatorul de curent TSAW—400 cu miez toroidal. Prin simpla schimbare a poziției unui șurub, aparatele pot funcționa cu rearmare automată sau cu rearmare manuală.

Pentru preluarea abaterilor în funcționare, datorate variației temperaturii mediului ambiant, în anumite limite, aparatele sînt prevăzute cu compensatoare de temperatură.

Numai prin introducerea în fabricație a aparatului TSA 30, s-au înlocuit patru produse depășite din punct de vedere tehnic, obținîndu-se, într-un gabarit redus, un aparat cu calități de protecție superioare celor existente.

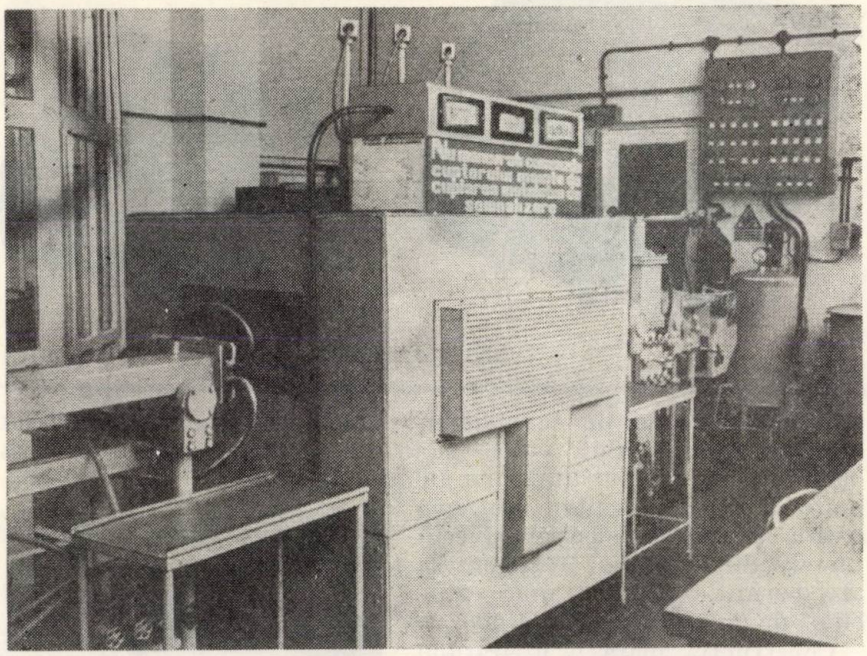


Fig. 7. Aspect general al secției de contacte sinterizate

Aparatele, fiind prevăzute cu un dispozitiv de protecție antibifazic, elimină una din cauzele frecvente de ardere a electromotoarelor.

Intreruptor automat monopolar

Intreruptorul automat monopolar pus în fabricație în 1968 la Electroaparataj este destinat protecției receptoarelor din instalațiile casnice și industriale pînă la 380 V c.a. și 25 A,

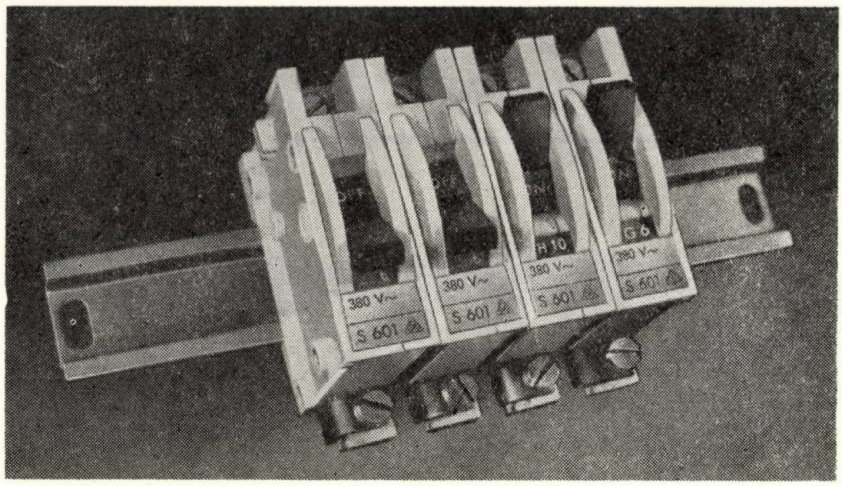


Fig. 8 a. Întreruptoare automate monopolare asamblate pe suport.

Aparatul este prevăzut cu un declanşator termic pentru protecţia la suprasarcină şi un declanşator electromagnetic (rapid), cu efect de limitare a curentului de scurtcircuit. Efectul de limitare a curentului, viteza mare de deschidere datorită mecanismului cu dublu genunchi, grătarul deionic pentru stingerea rapidă a arcului electric şi contactele din material rezistent la arc, permit realizarea unei capacităţi de rupere ridicate (1 500 A).

Construcţia plată a aparatului permite montarea alăturată pe şina de montaj, fixarea pe şină făcîndu-se cu clemă, rapid, fără şuruburi.

Aparatele pot fi livrate şi în execuţie TH, TA, THA şi corespund normelor CEE şi VDE.

Microîntreruptoare

Microîntreruptoarele asimilate de întreprinderea Electroaparataj cuprind următoarele construcţii de bază :

— tip C, pentru utilizări generale ;
— tip H, cu gabarit redus ;
— tip D, construcţie etanşă.

Fiecare construcţie se execută în mai multe tipovariante ca, de exemplu :

— tip C, 48 tipovariante ;
— tip H, 24 tipovariante ;
— tip D, 14 tipovariante.

În afară de aceasta, fiecare tipovariantă poate fi livrată cu borne pentru legarea conductorului cu şurub, cu clemă priză-fişă sau prin lipire cu cositor.

Microîntreruptoarele realizate asigură un înalt grad de fiabilitate. În comparaţie cu vechiul tip durata de viaţă a crescut de la 5 milioane la 10 milioane manevre, iar curentul nominal de la 6 A la 15 A (pentru tipul C). A crescut de asemenea gradul de precizie al acţionării.

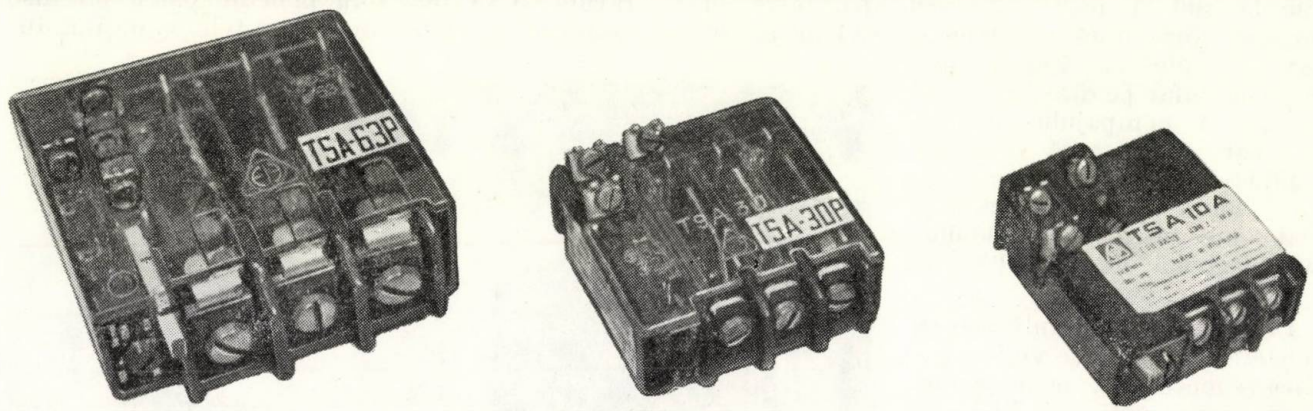


Fig. 8 b. Seria de relee termice TSA asamblate pe suport

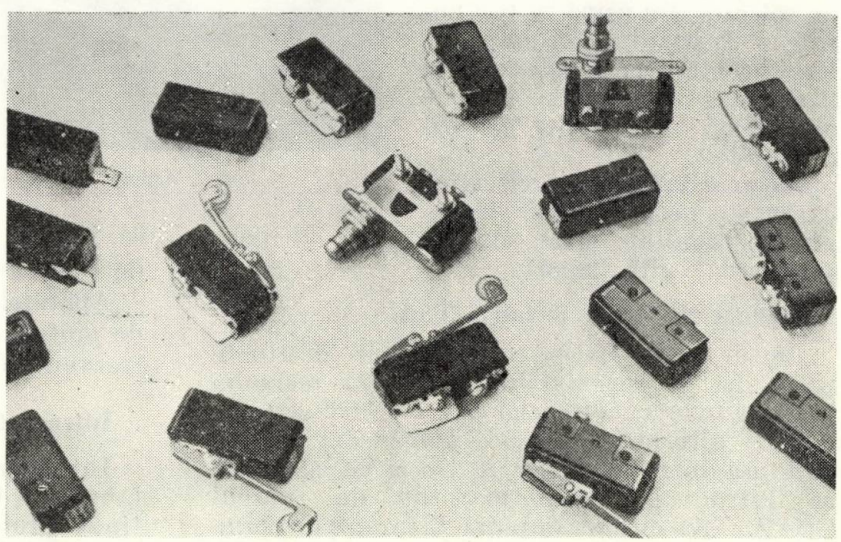


Fig. 9. Seria de microîntreruptoare

Datorită diversificării, noile microîntreruptoare pot fi utilizate într-o gamă largă de domenii, ca de exemplu : maşini-unelte, maşini textile, maşini de ridicat, automatizări şi blocări diferite etc.

Aparataj de instalaţii

Noile întreruptoare şi comutatoare pentru instalaţii cuprind variante pe tencuială şi sub tencuială, protejate contra atingerilor accidentale (IP 200) sau capsulate (IP 330).

Noile tipuri de aparate au o construcţie modernă, capacele şi butoanele sînt realizate din materiale plastice cu aspect şi culori plăcute.

Pentru a creşte gradul de confort aparatele sînt prevăzute cu amortizoare de cauciuc, care reduc zgomotul produs la funcţionarea întreruptoarelor. Durata de viaţă a aparatelor a fost mărită de la 50 000 manevre, cît rezista vechea serie de produse, la 100 000 manevre. În acest fel se asigură o rezistenţă la uzura electrică şi mecanică dublă faţă de cea prevăzută în STAS 3185-61, sau în normele CEI 24/1962 şi VDE 632/1964. Aparatele sînt astfel concepute încît permit realizarea în condiţii de productivitate ridicate.

Echipament de tracţiune

Ca urmare a sarcinilor de dezvoltare şi modernizare a transporturilor feroviare în ţara noastră, în ultimii ani a fost asimilată fabricaţia locomotivelor diesel-hidraulice, la Uzinele 23 August, iar la Uzinele Electroputere Craiova fabricaţia locomotivelor electrice. În vederea echipării acestora cu aparatajul electric aferent s-a dezvoltat în cadrul întreprinderii Electroaparataj un sector pentru echipamentul de tracţiune, în care se execută peste 100 aparate diferite, din care menţionăm :

— seria de contactoare electromagnetice 40—400 A ;

— contactoare electropneumatice 250 A ; 1 600 A ;

— ventile electropneumatice ;

— inversoare de sens 820 A ; 1 600 A ;

— aparat de siguranţă etc.

Cerinţe cu totul speciale ce se impun acestor aparate sînt robusteţea şi siguranţa în exploatare.

Aparatele satisfac condiţiile particulare prevăzute în publicaţia CEI 77 şi prescripţia UIC 616—0 privind echipamentul montat pe vehicule motoare.

Gama largă de produse a permis crearea unor elemente tipizate şi uniformizarea echipamentului pentru locomotivele diesel-electrice şi seriei de locomotive diesel-hidraulice, scurtîndu-se în acest fel ciclul de asimilare şi realizîndu-se totodată reducerea preţului de cost prin mărirea seriei de fabricaţie.

Limitatoare de cursă

Aceste aparate au o mare importanţă în privinţa siguranţei în exploatare a maşinilor de ridicat şi transportat şi a utilajelor grele din uzinele metalurgice şi constructoare de maşini. În acest scop a fost studiată o soluţie originală privind realizarea acestor aparate. La proiectarea lor s-au avut în vedere următoarele considerente : creşterea duratei de viaţă de la 5 000 manevrări la 250 000 manevrări sub curent şi 1 000 000 manevre mecanice, în care scop s-au utilizat contacte sinterizate, camere de stingere speciale şi acţionarea rapidă a contactelor.

Aparatele sînt realizate pentru gama de curenţi 6—100 A în variantele cu pîrghie şi şurub.

Controlere de comandă pentru motoare cu inele.

Fabricaţia de controlere de comandă pe circuite principale care se realizează la U.M.E.B. acoperă gama puterilor pînă la 45 kW. Prin reproiectarea seriei s-a reuşit să se realizeze o construcţie cu comutare simetrică, cu un număr de manevre mult mai ridicat decît la tipurile cu tambur, uşor manevrabile şi cu dimensiuni mult mai reduse.

Volumul noilor aparate reprezintă numai 30—40% din volumul ocupat de tipurile cu tambur.

Încă în acest an se va începe fabricaţia de noi aparate de nivel tehnic ridicat, pentru care au început lucrările de pregătire a echipamentului tehnologic. Dintre cele mai importante, menţionăm cîteva în continuare :

a) Seria de întreruptoare automate în carcasă izolantă, în gama 63—800 A, avînd puteri de rupere între 8 şi 25 kA_{ef}. Aparatele se realizează în variante constructive care satisfac diverse necesităţi ; întreruptoare în execuţie fixă sau debroşabilă, cu legături în faţă sau spate, bipolare sau tripolare, tipurile mai mari fiind prevăzute şi cu acţionare de la distanţă. Ele funcţionează în curent alternativ şi curent continuu, pot fi echipate cu numeroase accesorii pentru semnalizare şi comandă şi satisfac norme internaţionale ca VDE, UTE, CEI, registrele navale LLOYD şi Veritas.

b) Seria de întreruptoare automate pentru staţii de 1 000—2 500 A cu puteri de rupere pînă la 50 kA_{ef}. Aparatele se remarcă printr-un grad înalt de tipizare a construcţiei, acţionare de pe aparat şi de la distanţă, execuţie fixă şi debroşabilă, capabile să realizeze şi protecţia selectivă în reţele. Şi acestea satisfac normele

internaţionale menţionate la tipurile în carcasă izolantă.

c) În domeniul aparatajului antigrizutos s-au început încercările de asimilare pentru o gamă nouă de aparate de conectare în domeniul 25—400 A.

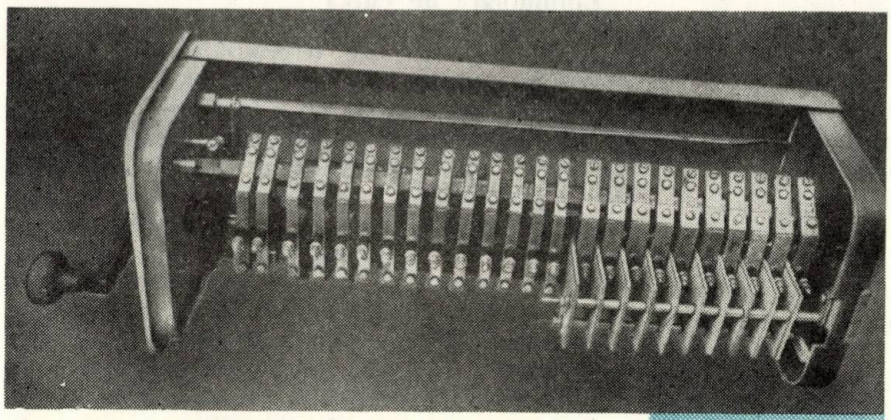


Fig. 10 a. Controler tip vechi

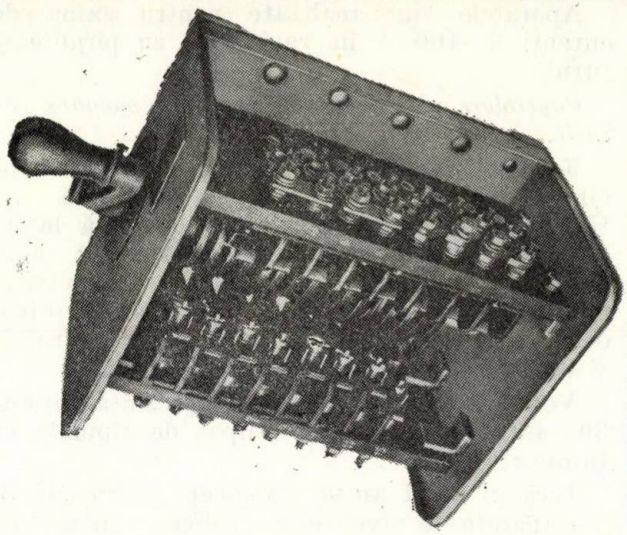


Fig. 10 b. Controler tip nou (prototip)

La proiectarea noii serii s-au adaptat soluţii constructive moderne, din care amintim:

— construcţia debroşabilă pe elemente componente care uşurează condiţiile de montaj şi exploatare;

— dotarea aparatelor cu relee de protecţie suplimentare ca, de exemplu, releul de protecţie contra punerii accidentale la pămînt a unei faze, precum şi realizarea circuitelor de comandă cu siguranţă intrinsecă;

— adaptarea unei forme paralelipipedice care prin posibilităţile mai bune pe care le conferă, privind utilizarea spaţiului, a permis reducerea gabaritelor şi greutăţilor aparatelor

Prin măsurile constructive luate, noua serie de aparate antigrizutoase prezintă caracteristici tehnico-economice care o situează la nivelul tehnicii contemporane, paralel cu asigurarea unui înalt grad de fiabilitate şi de siguranţă în funcţionarea în medii cu pericol de explozie.

d) Seria de comutatoare cu came este destinată echipării maşinilor-unelte şi schemelor de automatizare, ea urmînd să înlocuiască actuala serie din fabricaţie. Noua seria va fi dimensionată pentru tensiuni de serviciu pînă la 660 V. c.a. şi 440 V c.c., iar gama curenţilor va acoperi mărimile de 25,40; 63 A. În baza experienţei de fabricaţie acumulate, seria va cuprinde numeroase posibilităţi: blocare cu cheie acţionare în tandem, blocarea mecanică a două comutatoare, blocare electromagnetică etc.

Dotarea pentru mărimea C16 cu contacte sinterizate va permite acţionarea directă a motoarelor. Prin soluţia constructivă adoptată vor putea fi realizate toate schemele solicitate.

e) Seria de tablouri capsulate din masă plastică este destinată instalaţiilor industriale de distribuţie a energiei electrice pînă la 630 A şi 500 V. Faţă de actuala serie în fabricaţie, gama de echipări este extinsă, noua serie cuprinzînd şi cutii cu contactoare, siguranţe automate etc. Pentru creşterea coeficientului de utilizare, cutiile cu siguranţe sînt echipate cu siguranţe cu pierderi reduse.

Realizarea acestui nou tip de siguranţă se face în cadrul întreprinderii cu colaborarea I.C.P.E.

f) O nouă serie de butoane de comandă se găseşte în prezent în studiu, serie ale cărei performanţe electrice şi mecanice se vor situa la nivelul tehnic contemporan. Noua serie va cuprinde o mare varietate de tipuri în execuţie normală şi etanşă şi va fi completată şi cu o serie de lămpi de semnalizare. Aceste tipuri de aparate se vor fabrica de Electroaparataj.

În domeniul aparatelor de măsură, uzina Electromagnetica a început lucrările de pregătirea fabricaţiei pentru milivoltmetre şi logometre indicatoare şi regulatoare. Noile tipuri de aparate într-o gamă variată de tipodimensiuni, depăşesc cu mult performanţele şi sortimentul tipurilor actuale.

Cele prezentate reprezintă numai cîteva aspecte din producţia de aparataj electric de joasă tensiune ce se realizează în unităţile Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini şi perspectivele ei de dezvoltare.

Realizări şi perspective în fabricaţia de locomotive diesel-electrice şi electrice

SAUL LEHRER şi ANTON ENĂCHESCU* — Craiova

CZ 621.335.2—833.6+621.335.222 : 621.312

Sărbătorirea aniversării a 25 de ani de la eliberarea Patriei noastre de sub jugul fascist este întîmpinată de uzinele Electroputere — Craiova cu eforturi susţinute pe linia dezvoltării fabricaţiei de locomotive.

Luna martie a anului 1960 reprezintă începutul unei perioade deosebit de fructuoase pentru uzină, deoarece în această lună s-a livrat la Calea Ferată Română prima locomotivă diesel-electrică de 2 100 CP, fabricată în România. Această dată a marcat începutul unei perioade în care uzina Electroputere a trecut în rîndul firmelor furnizoare, importante din Europa, pentru vehicule din ramura tracţiunii feroviare. În prezent uzina Electroputere are în profilul său de fabricaţie locomotive diesel-electrice Co—Co 2 100 CP şi locomotiva electrică Co-Co 5 100 kV.

Locomotiva diesel-electrică Co—Co 2 100 CP

Fabricaţia locomotivei diesel-electrice Co-Co 2 100 CP a început pe baza unei licenţe de fabricaţie.

În figura 1 se prezintă desenul locomotivei diesel-electrice, pe care se poate urmări amplasarea echipamentului electromecanic şi structura generală constructivă a locomotivei.

Caracteristicile principale ale acestei locomotive sînt prezentate în tabela 1.

Schema electrică de principiu a locomotivei diesel-electrice este indicată în figura 2, iar caracteristicile de tracţiune sînt scoase în evidenţă de diagramele din figura 3.

Prima locomotivă diesel-electrică care a fost realizată cu nouă ani în urmă la uzina Electroputere — Craiova, a pus bazele dezvoltării unei unităţi industriale puternice capabilă să realizeze un produs atît de complex, care corespunde exigenţelor tehnicii actuale.

De atunci, producţia de locomotive diesel-electrice a crescut an de an, ajungîndu-se ca în 1968 producţia să crească de 13,2 ori faţă de 1960, realizîndu-se : în 1968 — 132 locomotive (faţă de 10 realizate în 1960), iar în 1969 sînt programate a se realiza 140 locomotive diesel-electrice de 2 100 CP, dintre care 70 sînt pentru export.

Pînă la 31 martie 1969, uzinele Electroputere au livrat 731 locomotive diesel-electrice Co—Co 2 100 CP, dintre care 515 s-au livrat la CFR şi 216 s-au livrat pentru export.

Livrările de locomotive pentru export au cunoscut un ritm ascendent, ajungîndu-se în 1969 la o creştere de 55% faţă de 1965, primul an de export.

Tabela 1

Formula osiilor	Co—Co cu motoare de tracţiune semisuspendată
Viteza maximă	100 km/h sau 120 km/h
Lungimea totală	17 000 mm
Lăţimea	3 000 mm
Înălţimea maximă	4 435 mm
Diametrul roţilor (stare nouă)	1 100 mm
Greutate totală (2/3 alimentare)	114 000 ± 3% kg
Sarcina pe osie	19 t
Motor diesel	Sulzer tip 12 LDA28 : — 2 300 CP la 750 rot/min, condiţii UIC ; — 2 100 CP la 750 rot/min, la +35°C, 80% umiditate, 720 mm Hg
Forţa de tracţiune	32 000 kg la demaraj ; 20 000 kg la 21,5 kW/h regim de durată pentru locomotive cu viteza maximă 100 km/h
Folosirea puterii totale a motorului diesel	practic de la limita de aderenţă la viteza maximă

Dar nu numai saltul cantitativ trebuie subliniat, ci şi progresul calitativ în concepţia şi realizarea locomotivelor diesel-electrice. În scurt timp specialiştii de la uzina Electroputere, ca urmare a studiilor şi cercetărilor întreprinse au adus îmbunătăţiri constructive importante locomotivei diesel-electrice Co—Co 2 100 CP, atît în ceea ce priveşte creşterea parametrilor tehnici, cît şi în ceea ce priveşte funcţionarea şi mărirea siguranţei de circulaţie.

* Ing. *S. Lehrer* este director tehnic la uzinele Electroputere-Craiova, iar ing. *A. Enăchescu* este şeful serviciului proiectare-locomotive din aceeaşi uzină.

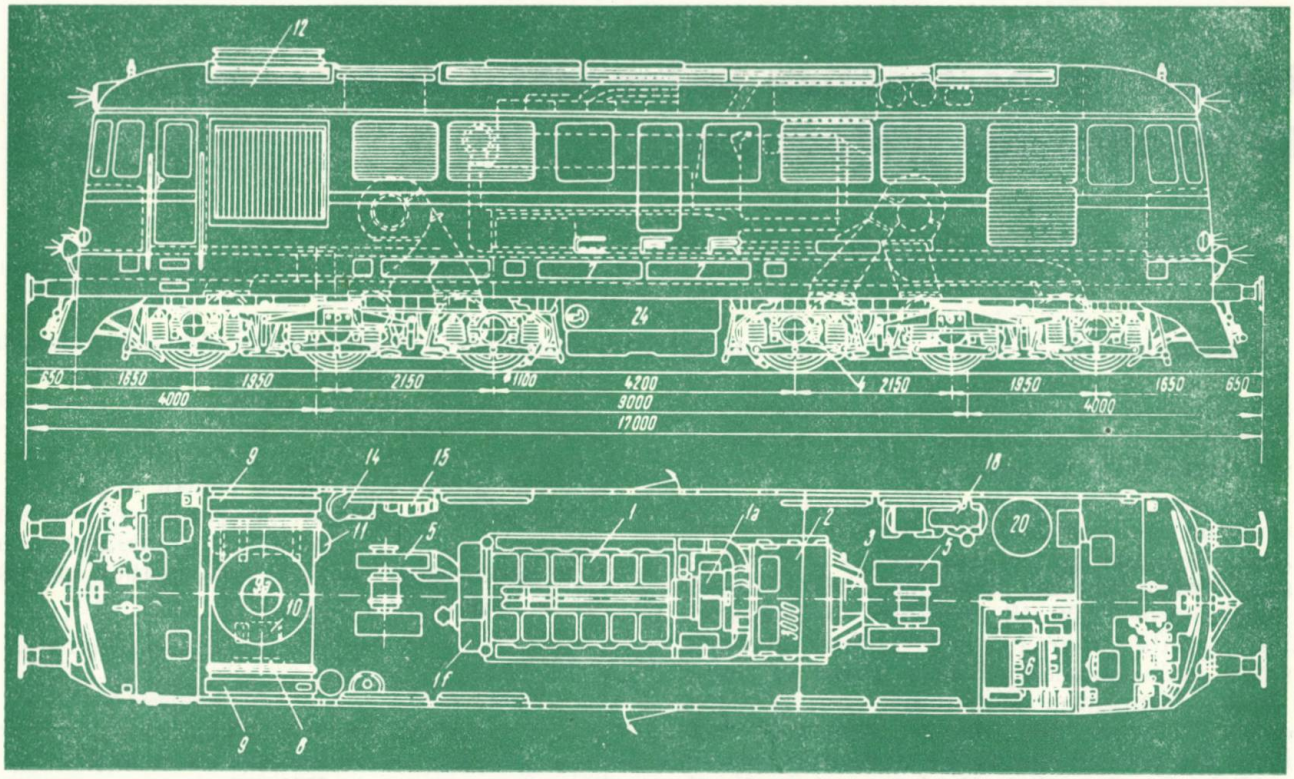


Fig. 1. Locomotiva diesel-electrică Co-Co de 2 100 CP:

1 — motor diesel (*1a* — turbosuflantă pentru supraalimentare, (*1f* — filtru pentru ulei de ungere); *2* — generator principal; *3* — generator auxiliar; *4* — motor de tracțiune; *5* — grup motoventilator pentru motoarele de tracțiune; *6* — blocul aparatelor electrice; *7* — bateria de acumulatoare; *8* — grupul convertizor pentru iluminat; *9* — radiatoare pentru răcirea apei (*9a* — ventilatorul instalației de răcire); *10* — pompa pentru apă de răcire; *11* — răcitor de ulei; *12* — rezervorul din acoperiș (apă și combustibil); *14* — agregat de preîncălzire apă și ulei; *15* — pompă de combustibil și pompă suplimentară pentru ulei; *18* — compresor de aer; *20* — rezervor principal de aer; *24* — rezervor principal de combustibil.

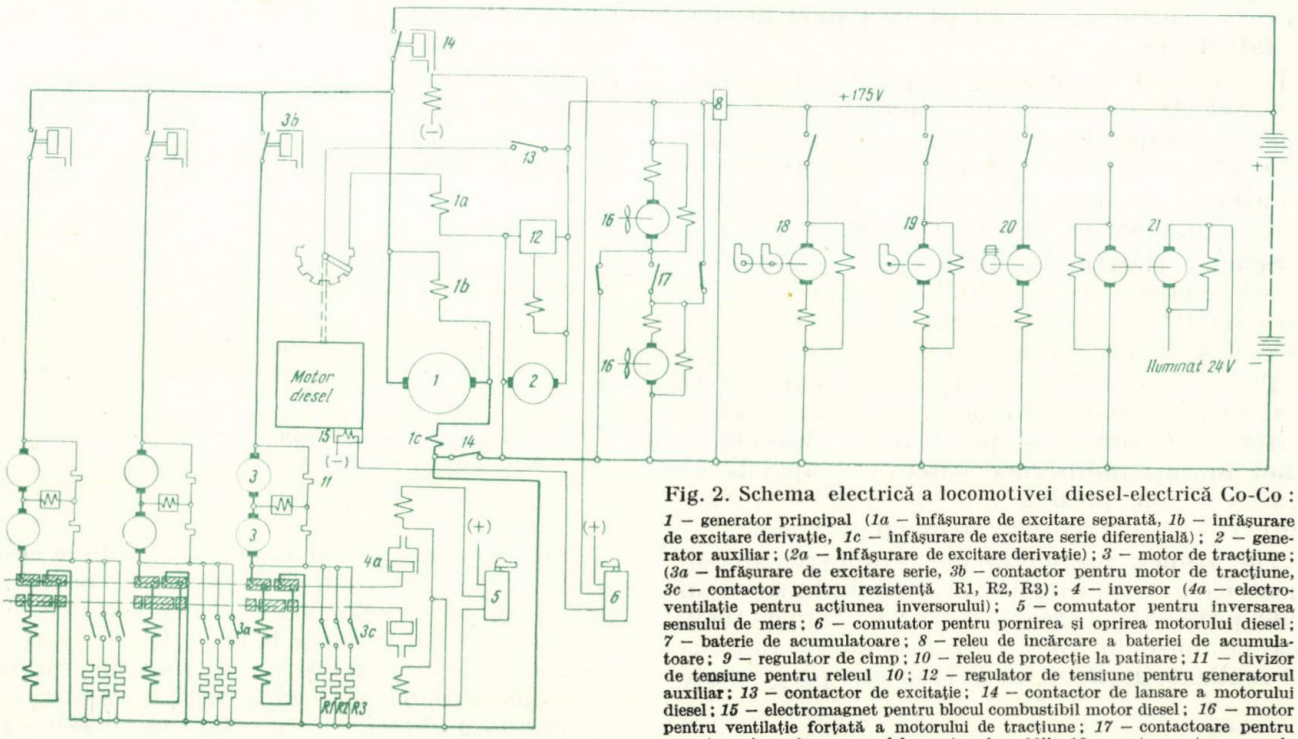


Fig. 2. Schema electrică a locomotivei diesel-electrică Co-Co:

1 — generator principal (*1a* — înfășurare de excitare separată, *1b* — înfășurare de excitare derivație, *1c* — înfășurare de excitare serie diferențială); *2* — generator auxiliar; (*2a* — înfășurare de excitare derivație); *3* — motor de tracțiune; (*3a* — înfășurare de excitare serie, *3b* — contactor pentru motor de tracțiune, *3c* — contactor pentru rezistență R1, R2, R3); *4* — inversor (*4a* — electroventilație pentru acțiunea inversorului); *5* — comutator pentru inversarea sensului de mers; *6* — comutator pentru pornirea și oprirea motorului diesel; *7* — baterie de acumulatoare; *8* — releu de încărcare a bateriei de acumulatoare; *9* — regulator de cimp; *10* — releu de protecție la patinare; *11* — divizor de tensiune pentru releul *10*; *12* — regulator de tensiune pentru generatorul auxiliar; *13* — contactor de excitație; *14* — contactor de lansare a motorului diesel; *15* — electromagnet pentru blocul combustibil motor diesel; *16* — motor pentru ventilație forțată a motorului de tracțiune; *17* — contactoare pentru conectoare în serie sau paralel a motoarelor „16"; *18* — motor pentru pompele de ulei și de combustibil; *19* — motor pentru pompa de apă de răcire; *20* — motor pentru compresor; *21* — grup convertizor pentru iluminat; *R1*, *R2*, *R3*, — rezistențe pentru slăbirea cîmpului motor de tracțiune.

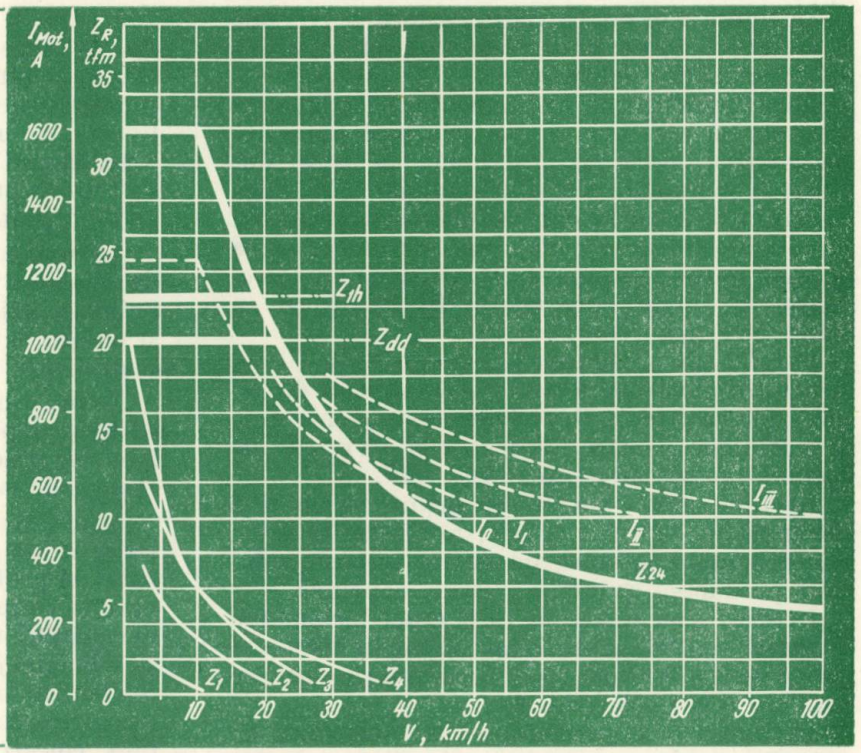


Fig. 3. Caracteristica de tracţiune a locomotivei diesel-electrică Co-Co; Z_R — forţa de tracţiune totală la obadă; Z_{1h} — forţa de tracţiune la putere uniorară a transmisiei electrice; Z_{dd} — forţa de tracţiune la putere de durată a transmisiei electrice; Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_{24} — curba forţei de tracţiune corespunzătoare treptei *1* respectiv *2*, *3*, *4*, *24* a controlerului; I_{Mot} — curentul motorului de tracţiune; I_0 — curentul motorului la putere maximă (corespunzător Z_{24}) şi cîmp plin; I_I, I_{II}, I_{III}, — curentul motorului la putere maximă (corespunzător Z_{24}) şi cîmp slăbit tr. I, respectiv II şi III; V — viteza.

Se menţionează numai cîteva din îmbunătăţirile mai importante:

— realizarea unei variante de locomotive cu 120 km/oră viteză maximă;

— îmbunătăţirea caracteristicii de tracţiune prin utilizarea puterii totale a motorului diesel pînă la viteza maximă;

— aplicarea unei noi scheme de şuntare cu trei trepte, care a îmbunătăţit condiţiile de funcţionare ale locomotivei;

— aplicarea unor tipuri noi de bobinaje rotor la generatorul principal, mai uşor de realizat şi cu o siguranţă sporită în exploatare;

— separarea circuitelor şi îmbunătăţirea condiţiilor de punere la masă;

— un sistem îmbunătăţit de dispozitiv de siguranţă;

— aplicarea unui sistem îmbunătăţit pentru indicatorul apei de răcire;

— îmbunătăţiri pentru condiţiile de confort ale personalului locomotivei;

— îmbunătăţiri la construcţia metalică a locomotivei.

Trebuie reţinut că îmbunătăţirile şi perfecţionările aplicate, iniţiate de specialiştii uzinei Electroputere, au afectat toate instalaţiile şi compartimentele locomotivei, reuşindu-se ca în final să se obţină un produs de un nivel tehnic ridicat, mult diferit faţă de nivelul iniţial precizat prin documentaţia de licenţă.

Locomotiva electrică CO—CO 5 100 kW

Locomotiva electrică Co—Co 5 100 kW se execută după o licenţă de fabricaţie. Caracteristicile principale ale acestei locomotive sînt redate în tabela 2.

Tabela 2

Formula osiilor	Co-Co cu motoare complet suspendate
Viteza maximă ..	120 km/h pentru trenuri marfă 160 km/h pentru trenuri călători
Tensiunea şi frecvenţa liniei de contact	25 kW, 50 Hz
Diametrul roţilor (stare nouă)	1 250 mm
Lungimea peste tampoane	19 800 mm
Lăţimea maximă	3 000 mm
Înălţimea cu pantograf coborît	4 500 mm
Greutatea totală — fără balast — cu balast	 120 t ± 2% 126 t ± 2%
Sarcina pe osie — fără balast — cu balast	 20 t 21 t
Puterea conform CEI 48	5 100 kW — continuu 5 400 kW — uniorar
Viteza — continuu — uniorar	69 km/h 68 km/h
Efort de tracţiune la obadă (cîmp plin) — continuu — uniorar	 26,5 t 28,5 t
Efort de tracţiune maxim la pornire	42 t

În figura 4 se poate vedea structura generală a locomotivei, ca și amplasarea pe locomotivă a principalului echipament.

Este important de menționat faptul că această locomotivă este una dintre cele mai puternice locomotive electrice din lume, la care sînt folosite redresoare cu siliciu (diode). Pe lîngă varianta de bază la care se folosesc redresoare cu siliciu (diode) și frînă reostatică, locomotiva se mai poate construi și în varianta cu redresoare cu siliciu comandate (tiristoare) și cu frînă electrică recuperativă.

Paralel cu preocupările existente la UEPC pentru fabricarea și livrarea de locomotive diesel-electrice de 2 100 CP, trebuie să se menționeze și realizările pentru fabricarea și livrarea de locomotive electrice de 5 100 kW.

În iulie 1967 s-a livrat prima locomotivă electrică Co—Co 5 100 kW, realizată la uzina Electroputere cu echipament din import, volumul producției avînd o creștere continuă.

În 1967 s-au livrat la CFR cinci locomotive electrice, în 1968 s-au livrat 10, iar în 1969 este programat a se livra 25 de locomotive electrice Co—Co 5 100 kW (fig. 2).

În figura 5 se prezintă schema electrică de principiu a locomotivei, iar în figura 6 sînt trasate caracteristicile de tracțiune.

Programul de fabricație și perfecționările tehnice

Este interesant de reținut că, după ce se vor realiza și prevederile de producție pe 1969 (adică 140 LDE 2 100 CP și 25 buc. LE 5 100 kW), de la începutul fabricației de locomotive (1960) și pînă la sfîrșitul anului în curs (1969) puterea instalată pe locomotivele diesel-electrice livrate de uzina Electroputere va fi de peste 2 milioane CP, ceea ce reprezintă de mai mult de trei ori puterea instalată în România în anul 1938 în centralele electrice.

Această creștere impresionantă a producției de locomotive a ridicat în timp, pe parcursul anilor, o serie de probleme tehnice de organizare și dotare, a căror rezolvare a permis obținerea realizărilor menționate.

Astfel, din 1960 (anul cînd primele locomotive au ieșit pe poarta uzinei) și pînă în 1969, suprafețele de producție ale fabricii de locomotive au crescut de la circa 7 000 m² la circa 22 500 m².

Asimilarea locomotivelor diesel-electrice și electrice magistrale la Electroputere a ridicat o serie de probleme tehnice dificile a căror rezolvare la timp și în bune condiții au dat dovada maturității tehnice a colectivului de muncitori și tehnicieni ai fabricii de locomotive. Astfel, realizarea unor mari ansamble sudate, care constituie șasiul și cutia locomotivei, au pus în fața colectivului de muncitori și tehnicieni probleme care au necesitat efort și multă pricepere. A trebuit învinse greutăți în legătură cu procese de sudare, asimilări de elemente de construcție cu un minimum de deformații, dispozitive mari complexe, confecționare de lonjeroane din tablă îndoită și sudată. La

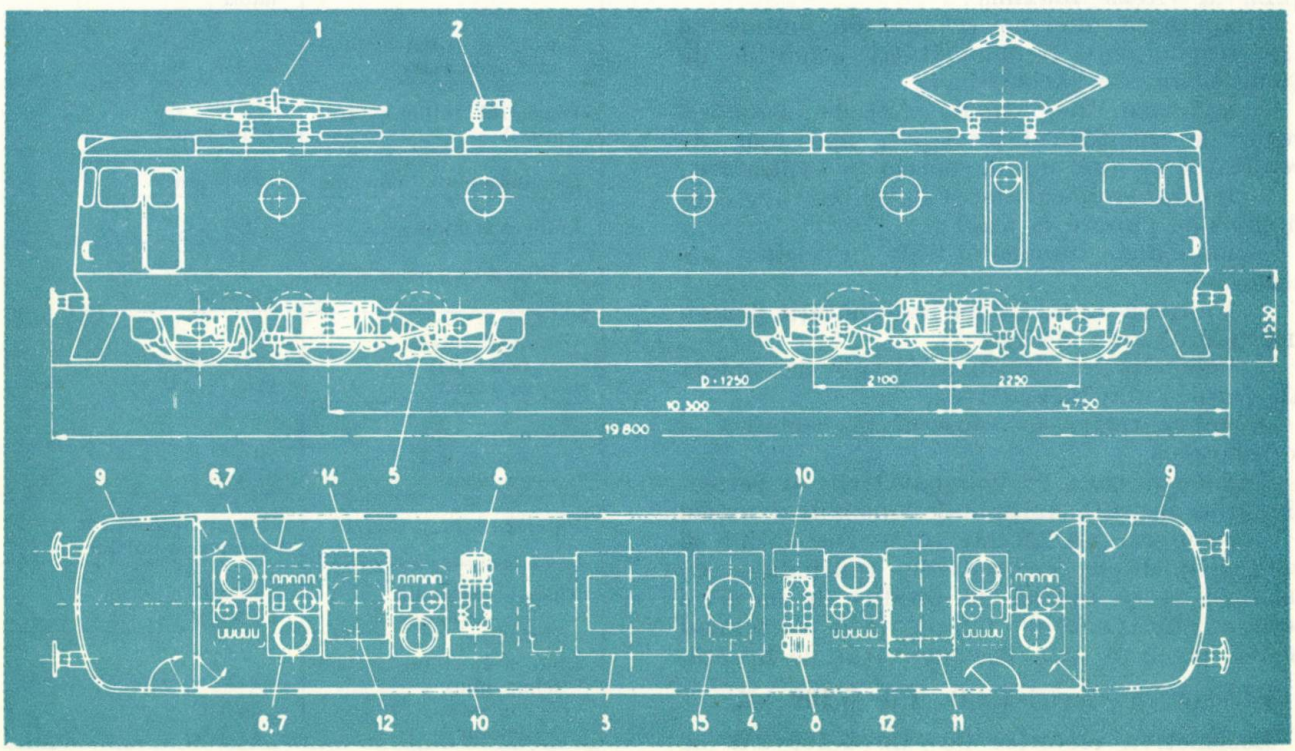


Fig. 4. Locomotiva electrică Co-Co de 5 100 kW

1 — pantograf; *2* — întreruptor principal și separator; *3* — transformator cu întreruptor IT; *4* — răcitor ulei; *5* — motor de tracțiune; *6* — ventilator pentru motor tracțiune; *7* — redresor siliciu; *8* — compresor; *9* — post de conducere; *10* — bloc aparate; *11* — condensator pentru defazaj; *12* — rezistență pentru frîna electrică; *13* — cutie baterii; *14* — bloc aparate pentru instalația pneumatică; *15* — self de netezire.

montajul general s-a folosit metoda avansată de folosire a subansamblurilor prefabricate, care a condus la scurtarea sensibilă a ciclului tehnologic de montaj. Astfel, la locomotiva electrică se folosesc 15 blocuri cu aparate electrice sau pneumatice care se montează separat în afara locomotivei, paralel cu alte lucrări de montaj, fixarea acestor elemente pe locomotivă făcîndu-se destul de repede şi uşor, descongestionîndu-se şi scurtîndu-se mult fazele de montaj general.

Realizarea unui stand de probe reostatice pentru LDE Co-Co 2 100 CP, a îmbunătăţit mult condiţiile de lucru şi a scurtat durata probelor de parcurs ale locomotivei.

Ca urmare a folosirii metodelor avansate de lucru, avîndu-se în vedere şi caracterul pronunţat al lucrărilor de serie s-a ajuns ca ciclul tehnologic pentru locomotiva diesel-electrică Co-Co 2 100 CP să se scurteze de la 18 luni cît s-a realizat la primele locomotive la cinci luni, iar la LF Co-Co 5 100 kW, ciclul tehnologic total al locomotivei să fie scurtat cu şase luni.

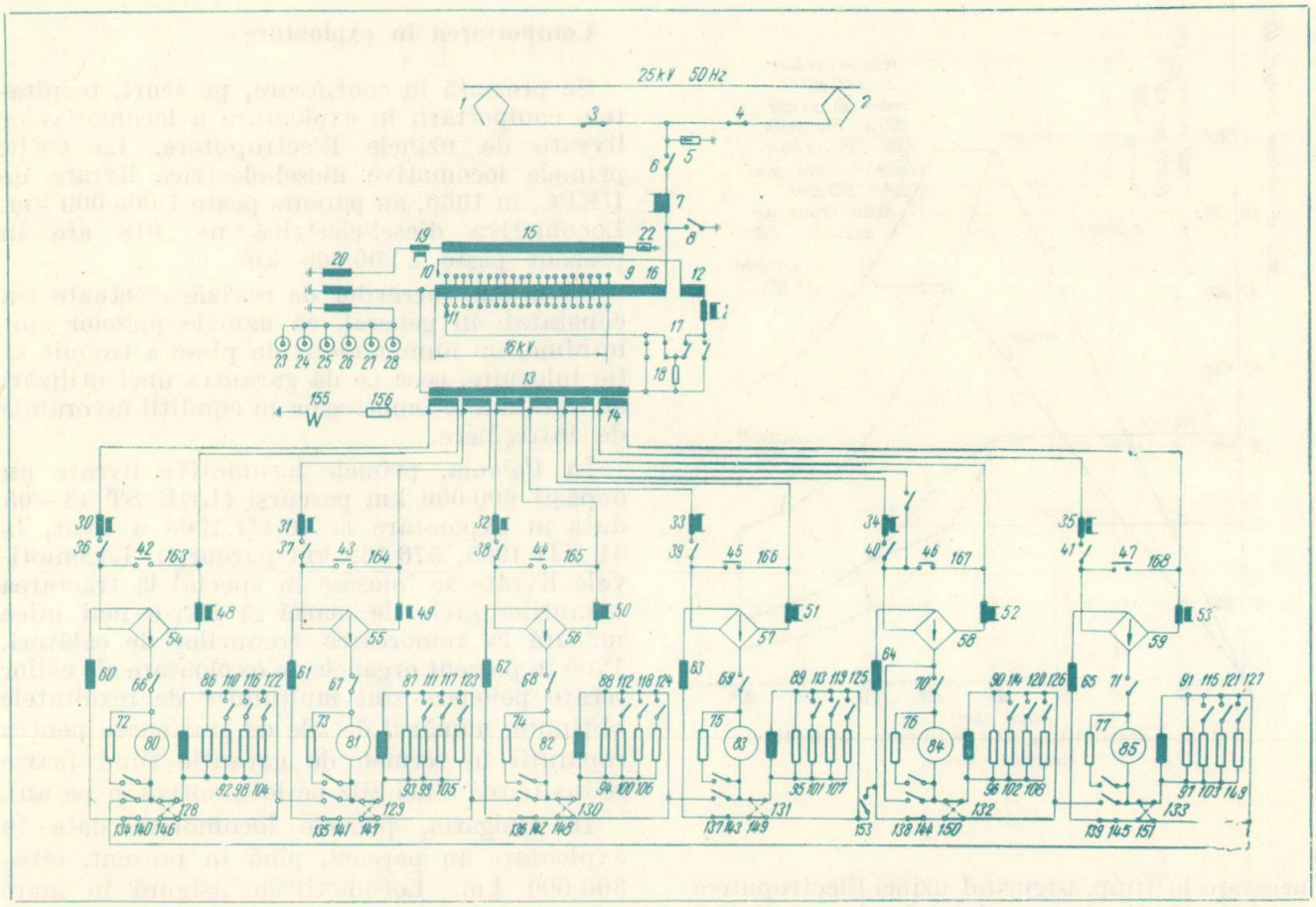


Fig. 5. Schema electrică a locomotivei electrice Co-Co de 5 100 CP:

1 — 2 — pantograf; *3 — 4* separator acoperiş; *5* — descărcător circuit înaltă tensiune; *6* — disjunctor; *7* — transformator de curent; *8* — dispozitiv de punere la masă; *9* — agregat transformator; *10—11* — selector cu trepte al graduatorului; *12* — înfăşurare suplimentară; *13* — înfăşurare de înaltă tensiune; *14* — înfăşurare de joasă tensiune; *15* — înfăşurare pentru serviciile auxiliare şi încălzire tren; *16* — înfăşurare de reglaj; *17* — întreruptor de sarcină; *18* — rezistenţă de comutare graduator; *19* — transformator de măsură curent încălzire tren; *20* — transformator de absorbţie; *21* — transformator de curent înfăşurare suplimentară; *22* — descărcător circuit joasă tensiune; *23—28* — contact osie; *30—35* — transformator de măsură curent motor tracţiune; *36 — 41* — contactor de linie (pe partea de c.a.); *42 — 47* — scurtcircuitor; *48 — 53* — transformator de impuls; *54—59* — redresor cu siliciu; *60—65* — self de netezire; *66—71* — contactor de linie (pe partea de c.c.); *72—77* rezistenţă de frînare; *80—85* — motor de tracţiune; *86 — 109* — rezistenţă pentru slăbirea cîmpului; *110—127* — contactor slăbire cîmp; *128—133* — inversor de mers; *134—153* — contactor de frînare; *155* — releu de punere la masă; *156* — rezistenţă de limitare.

Trebuie să menţionăm că la realizarea atît a locomotivelor diesel-electrice Co-Co 2 100 CP, cît şi la realizarea locomotivelor electrice Co-Co 5 100 kW participă un număr mare de întreprinderi colaboratoare.

Se consideră ca o problemă de importanţă majoră şi care aduce o contribuţie de seamă la asigurarea unei bune desfăşurări a fabricaţiei este reuşita acţiunii de coordonare a livrării produselor componente ale locomotivei din partea unităţilor colaboratoare.

Meritul acestor unităţi, de altfel ca şi al uzinelor coordonatoare Electroputere şi UCMR

este că au reuşit într-un timp destul de scurt să asimileze un sortiment foarte larg şi variat de produse, la un nivel calitativ corespunzător tehnicii mondiale şi de asemenea, să asigure fabricaţia curentă la 140 locomotive pe an (aşa cum este programat pe 1969), cu produsele

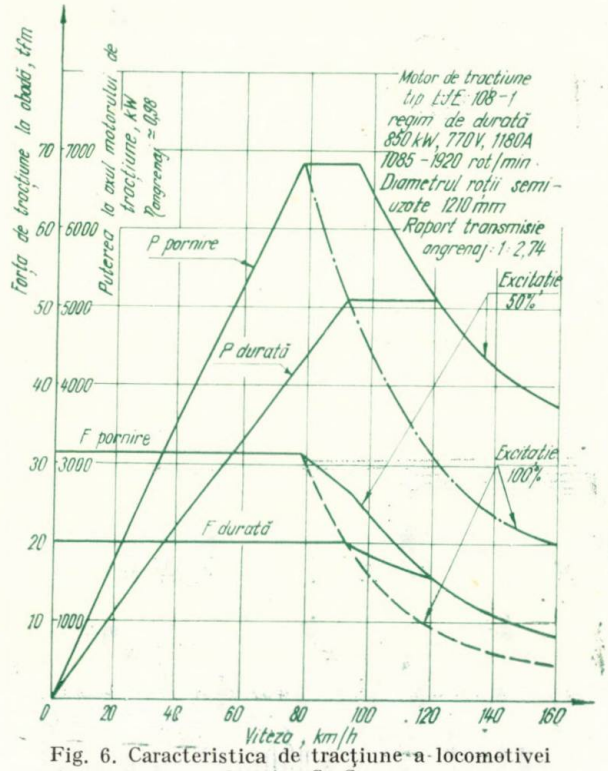


Fig. 6. Caracteristica de tracţiune a locomotivei electrice Co-Co.

necesare la timp, asigurînd uzinei Electroputere o fabricaţie şi o livrare ritmică a locomotivelor pentru calea ferată română şi export.

Efectul economic, deosebit de important pentru economia naţională, obţinut ca urmare a preocupărilor de asimilare arătat, a făcut ca de la an la an să se facă reduceri simţitoare la importul de materiale, produse şi agregate, reuşindu-se a se obţine ca în 1969 valoarea produselor ce se importă să reprezinte circa 5% din valoarea locomotivei.

Dinamica asimilării în ţară a produselor pentru locomotiva electrică se prezintă în tabela 3.

Tabela 3

Anul	Poziţii asimilate	Ponderea valorică, lei
1967	241	2 400 000
1968	60	1 758 000
1969	134	2 000 000

Cifrele din această tabelă dovedesc complexitatea acţiunii de asimilare a locomotivei electrice de 5 100 kW şi munca depusă pe această linie. Acţiunea trebuie continuată cu eforturi sporite pentru reducerea la minimum a cotei de import pentru produsele ce intervin în componenţa locomotivei.

Comportarea în exploatare

Se prezintă în continuare, pe scurt, rezultatele comportării în exploatare a locomotivelor livrate de uzinele Electroputere. La CFR, primele locomotive diesel-electrice livrate de UEPC, în 1960, au parcurs peste 1 000 000 km. Locomotiva diesel-electrică nr. 018 are în prezent peste 1 200 000 km.

Cu ocazia lucrărilor de revizie efectuate s-a constatat, în general, că uzurile pieselor sînt minime, un număr redus de piese a trebuit să fie înlocuite, ceea ce dă garanţia unei utilizări de durată a locomotivelor cu condiţii favorabile de întreţinere.

În Polonia, primele locomotive livrate au depăşit 600 000 km parcurşi (LDE ST 43—05 dată în exploatare la 10.III.1965 a avut, la 31 XII 1968, 576 732 km parcurşi). Locomotivele livrate se folosesc în special la tractarea trenurilor grele de marfă şi într-o mai mică măsură la remorcarea trenurilor de călători. Pînă în prezent organele de exploatare ale căilor ferate poloneze sînt mulţumite de rezultatele obţinute, numărul de zile de staţionare pentru reparaţii în termen de garanţie fiind foarte redus (circa cinci zile pe locomotivă şi pe an).

În Bulgaria, primele locomotive date în exploatare au parcurs, pînă în prezent, circa 300 000 km. Locomotivele asigură în mare măsură circulaţia trenurilor de marfă şi pasageri, cu rezultate bune în exploatare.

Atît în Polonia, cît şi în Bulgaria, uzinele Electroputere au organizat echipe de „Service" care au o contribuţie de seamă la obţinerea rezultatelor bune în exploatare.

Perspective în fabricaţia de locomotive

Realizările frumoase obţinute pînă în prezent în domeniul fabricaţiei de locomotive, îndreptăţesc uzina Electroputere să privească cu mai mare atenţie perspectiva de dezvoltare.

Trebuie să se dea o mai mare atenţie studiilor şi cercetărilor aplicative, muncii de concepţie proprie a specialiştilor uzinei pentru a se ajunge cît mai repede la o diversificare a producţiei de locomotive, aşa cum cer interesele satisfacerii cerinţelor din ţara noastră, dar mai ales pentru extinderea exportului.

Nu trebuie neglijat că tehnica mondială în ramura tracțiunii feroviare progresează cu pași mari și se impune ca uzina Electroputere să ia măsuri ca locomotivele pe care le fabrică să-și mențină competitivitatea pe piața externă. În acest sens, există o serie de preocupări enumerate în continuare.

a) O primă preocupare a specialiștilor uzinei o constituie realizarea unor locomotive diesel-electrice pentru climat tropical. În prezent se găsește în faza de proiectare locomotiva diesel-electrică de 2 500 CP pentru climat tropical THA. În trimestrul al doilea al acestui an va începe realizarea prototipului locomotivei (2 buc.) care va fi gata în prima jumătate a anului 1970.

Proiectarea și realizarea unor asemenea locomotive a ridicat o serie de probleme tehnice interesante cu privire la presurizarea locomotivei, etanșarea contra prafului, protecția, bateria de acumulatoare etc.

b) Există apoi preocuparea în fază de studiu pentru elaborarea unei serii unitare de locomotive diesel-electrice cu puteri de la 2 000 la 6 000 CP, dotată cu motoare diesel moderne, cu parametrii tehnici ridicați. La baza dezvoltării constructive a unei asemenea serii va sta realizarea cu precădere a locomotivei de 4 000 CP, pentru care sînt în curs de elaborare unele studii comparative.

c) Avîndu-se în vedere cererile mari, în special pe pieţele străine, pentru locomotive diesel-electrice de 1 250-1 500 CP, uzina va trebuie într-un viitor apropiat, să-și contureze ideile și în această privință. Va trebui găsită soluția realizării unei serii de locomotive care să răspundă fără prea mari dificultăți la cererile care sînt așa de diferite pentru acest gen de locomotive; ne ferim la ecartament, sarcină pe osie, tip constructiv al cutiei, mediile de funcționare etc.

d) Diversificarea fabricației de locomotive electrice se impune de asemenea cu destulă urgență. Lărgirea gamei de puteri și a tipurilor constructive în ceea ce privește formula osiilor, ca să se poată răspunde rațional la cererile diferite de exploatare, este una dintre sarcinile care cer o rezolvare apropiată. În această privință se poate menționa locomotiva electrică Bo-Bo 3 400 kW.

e) Locomotivele electrice cu tiristoare reprezintă o grupă importantă care, de asemenea, trebuie avută în vedere în preocupările noastre.

Avantajele economice, ca simplitate a construcției și posibilitatea folosirii unei frînări electrice recuperative, nu vor permite să se amîne prea mult preocupările pentru realizarea unor asemenea locomotive.

Au fost enumerate preocupările majore care vizează fabricația de locomotive în perspectivă la uzina Electroputere. Trebuie să nu se neglijeze însă preocupările permanente care trebuie să le avem pentru îmbunătățirea și modernizarea construcțiilor actuale ale locomotivelor: adaptarea cuplei centrale automate, creșterea puterii, variante constructive cu frînă electrică reostatică, înlocuirea unor agregate depășite cu altele ținute la curent cu progresul tehnicii mondiale etc. În acest fel avem imaginea completă a preocupărilor colectivelor de concepție (proiectare și cercetare) ale uzinelor Electroputere.

Capacitățile de producție organizate la această uzină fac să devină pregnante preocupările pentru diversificarea fabricației și extinderea exportului. Se consideră necesar însă ca forțele de concepție ale uzinei să fie întărite pentru a se putea face față volumului de lucru mare, care rezultă din cele expuse.

Realizările de pînă acum ale uzinelor Electroputere constituie imboldul, obligația morală ca perioada de perspectivă să ofere economiei naționale tot mai mari satisfacții. Colectivul de muncitori, ingineri, tehnicieni, ai uzinei Electroputere se angajează pentru împlinirea acestor sarcini.

Tehnica surselor pentru sudarea electrică cu arc

ŞTEFAN GROSU, DUMITRU IONESCU şi CONSTANŢIU POPESCU* — Bucureşti

CZ 621.791.75:621.321

Tehnica sudării electrice cu arc se extinde şi creşte în importanţă atît sub aspectul numărului locurilor de muncă, cît şi în ceea ce priveşte diversitatea utilizărilor şi procedeelor. Ca urmare sînt necesare surse de sudare în număr mare, cu caracteristici îmbunătăţite şi variate. Progresul tehnicii din alte domenii permite soluţii noi pentru realizarea acestora; ca urmare construcţia surselor de sudare este în plină expansiune şi justifică cercetarea ştiinţifică, diversificarea şi înoirea produselor.

După o perioadă în care s-au cristalizat necesităţile, apare clar că în viitorul previzibil vor coexista ca principale surse: transformatoarele, redresoarele şi grupurile rotative pentru sudarea în curent continuu.

Perspective interesante apar în legătură cu sursele de sudare în curent alternativ, la frecvenţă mărită şi cu instalaţiile cu mai multe posturi, în curent alternativ [1] sau continuu.

Pentru Republica Socialistă România care este în plin efort de industrializare, cu numeroase fabrici constructoare de maşini, utilaje şi şantiere, industria surselor de sudare prezintă o parte relativ importantă în procesul de industrializare şi dezvoltare a ţării.

1. Transformatoare

În general sînt cunoscute avantajele şi dezavantajele pe care le are sudarea electrică cu arc, în curent alternativ, la 50 Hz. Raportul dintre avantaje şi dezavantaje nu este constant depinzînd de diverşi factori, ca de exemplu: calitatea şi preţul electrozilor, accesibilitatea şi preţul unor elemente de construcţie etc. Deşi există o tendinţă de mărire a proporţiei de utilizare a curentului continuu, în special prin folosirea redresoarelor, locul ocupat de transformatoare rămîne în continuare important. În consecinţă apar ca justificate eforturile pentru perfecţionarea acestora. Aceste prefecţionări pot avea ca bază o îmbunătăţire a concepţiei, a tehnologiei şi în special a materialelor. Progresele realizate în ceea ce priveşte calitatea tolei electrotehnice şi a izolanţilor sînt importante.

În prezent fabrica Electrotehnica din Bucureşti, principala producătoare de transformatoare de sudare, construieşte următoarele tipuri.

— Transformatorul TASM — 300 A este destinat pentru sudarea electrică manuală şi permite sudarea pe o plajă întinsă de reglaj al curentului, 75 — 480 A, cu electrozi de diametre cuprinse între 2 ÷ 10 mm. Valoarea nominală a curentului, 300 A, corespunde unui regim de lucru cu durata activă de 60%. Reglajul curentului se face continuu, în limitele 75 — 230 A şi 220 — 480 A. Trecerea de la o treaptă la alta se face prin comutări în circuitul secundar, cu ajutorul unui tablou de borne. Tensiunile în gol sînt: 59 — 62 V, pe treapta de curenţi mari şi 70—74 V pe treapta de curenţi mici. Reglajul curentului se face printr-un şunt magnetic deplasabil. O particularitate interesantă a acestui şunt constă în faptul că are tolele situate în plane perpendiculase pe planul tolelor miezului magnetic al transformatorului. Acesta, deşi conduce la o construcţie mai complicată, permite o distribuire mai bună a fluxului de dispersie prin şunt, şi o micşorare a pierderilor suplimentare la mers în sarcină. Schema generală a transformatorului este dată în figura 1, iar caracteristicile externe în figura 2.

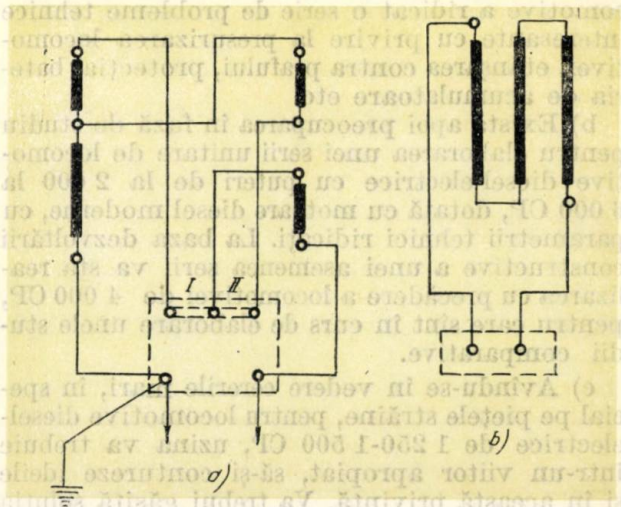


Fig. 1. Schema bobinajelor transformatorului TASM- 300:
a — secundar; *b* — primar.

Se menţionează că transformatorul are bobinajul primar situat pe o coloană a miezului magnetic, iar bobinajul secundar este construit din două părţi, una pe aceeaşi coloană cu bobinajul primar, deci mai strîns cuplată cu acesta, iar cealaltă pe cea de-a doua coloană a miezului magnetic, deci cuplată, mai slab. Din

* Ing. *St. Grosu* este cercetător principal la I.C.P.E., *D. Ionescu* este inginer şef la întreprinderea Electrotehnica, iar *C. Popescu* este inginer proiectant principal la U.M.E.B.

combinarea lor, prin comutarea unor fracţiuni din cele două părţi, se obţin cele două trepte de curenţi. Greutatea transformatorului este de circa 200 kg. Transformatorul TASM 300 A este construit în trei variante, din punctul de vedere al tensiunilor de alimentare : 220 V, 380 V şi 500 V. În figura 3 este dată fotografia acestui transformator.

— Transformatorul TSAP — 2 este portabil, destinat în special atelierelor mai mici şi şantierelor. Are un curent nominal de sudare de 160 A, la o durată activă de lucru de circa 15%. Reglajul se face în cinci trepte de curent pentru a se putea suda cu electrozi de diametrele : 1,5 ; 2 ; 2,5 3,25 ; 4 mm. Tensiunea de alimentare este de 220 V, iar tensiunea de mers în gol este de circa 60 V.

În principiu, este constituit dintr-un transformator propriu-zis, coborîtor de tensiune, cu reactanţă de dispersie mărită, avînd un bobinaj primar şi unul secundar aşezate faţă în faţă, pe aceeaşi coloană magnetică (centrală) şi un reactor (bobină de inductanţă) cu prize, legat în serie cu bobinajul secundar, obţinîndu-se astfel

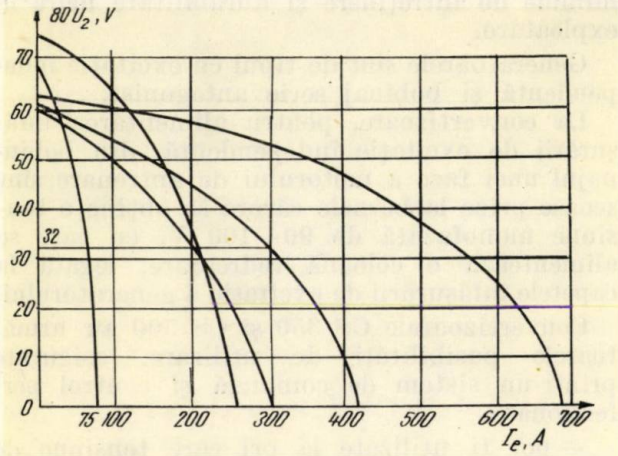


Fig. 2. Caracteristicile externe $U_2 = f(I_2)$ ale transformatorului TASM-300.

treptele de reglaj ale curentului de sudură. O particularitate interesantă a reactorului este aceea că nu are miez magnetic propriu, şi este realizat prin bobine situate tot pe miezul transformatorului. Greutatea transformatorului este de circa 39 kg.

— Transformatorul T. S. 1 000 este sursa de curent pentru automatul de sudat sub flux, tip AST — 3. La acest transformator, ţinîndu-se seamă de destinaţie, la 1 000 A, durata activă este de 100%. În principiu este un transformator avînd legat în serie cu secundarul o bobină de inductanţă reglabilă care are o parte a circuitului magnetic comună cu cel al transformatorului. Reglajul curentului se face variind întrefierul circuitului magnetic al bobinei de inductanţă, prin deplasarea unei părţi a acestui miez; aceasta se face printr-un servomotor, acţionat de la distanţă.

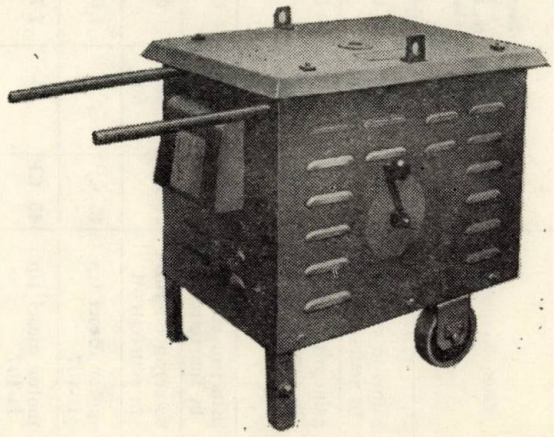


Fig. 3. Transformatul TASM-300

Domeniul de reglaj al curentului de sudură al transformatorului este de 400 — 1 200 A, transformatorul este alimentat la 380 V, are o tensiune secundară de mers în gol de 78 V şi este răcit printr-un ventilator.

Toate transformatoarele descrise sînt monofazate. În legătură cu transformatoarele pentru sudarea electrică cu arc la Baza de Cercetări a Academiei din Timişoara s-au întreprins în ultimul timp studii aprofundate privind analiza caracteristicilor dinamice şi ale aptitudinilor de sudare ale acestora.

— Transformatoare trifazate cu mai multe posturi, alimentate prin reactoare reglabile. Aceste transformatoare s-au realizat în număr relativ mic, răspîndirea lor fiind limitată. Se poate menţiona că în ultimul timp s-au întreprins studii sistematice la Institutul politehnic Timişoara, pentru perfecţionarea concepţiei de proiectare a reactoarelor reglabile.

2. Surse rotative de sudare în curent continuu

În prezent, sursele rotative pentru curent continuu produse de Uzina de maşini electrice Bucureşti au o pondere importantă, atît în ceea ce priveşte dotarea locurilor de muncă, cît şi în ceea ce priveşte producţia de astfel de surse în Republica Socialistă România.

Noile cerinţe apărute an de an în tehnica sudării, necesitatea de a perfecţiona în mod continuu performanţele tehnico-economice ale surselor şi de a mări competitivitatea pe piaţa externă, au impus efectuarea permanentă a unor lucrări de cercetare şi perfecţionare, de asimilare de noi tipuri de surse.

În principal, aceste lucrări au ca obiectiv îmbunătăţirea proprietăţilor de sudare, adaptarea surselor la noi metode şi materiale de sudare, micşorarea greutăţii şi gabaritului, îmbunătăţirea randamentului şi factorului de

Tabela 1

Felul sursei	Tipul	Simbol conform STAS 8143-68	Regim maxim			Regim nominal			Regim continuu		Domeniu de reglaj		Turatia, rot/min	Motor de antrenare	Puterea motorului	Tensiunea motorului, V	Greutatea totală, kg
			DA, %	U, V	I, A	DA, %	U, V	I, A	U, V	I, A	Limită inferioară	Limită superioară					
Convertizor de curent continuu	CS 350	CSC	35 %	34	370	55 %	32	330	28	245	50 A 22 V	370 A 34 V	1 450	asincron cu rotor în scurtcircuit.	14 kW	220/380/440/500	420
Convertizor de curent continuu	CS 3	CSC	35 %	35	370	60 %	32	315	30	245	50 A 22 V	370 A 35 V	1 450	asincron cu rotor în scurtcircuit	11 kW	220 380 500	410
Convertizor cu curent continuu	CS 500	CSCRU	35 %	44	625	55 %	38	500	34	370	50 A 22 V	625 A 44 V	1 450	asincron cu rotor în scurtcircuit	21 kW	380/440/500	610
Convertizor de curent continuu	CS 5	CSC	35 %	44	625	60 %	40	500	35	370	50 A 22 V	625 A 44 V	1 450	asincron cu rotor în scurtcircuit	21 kW	380 500	600
Grup electrogen	GST 350	GSC	35 %	34	370	55 %	32	330	28	245	50 A 22 V	370 A 34 V	1 500	motor diesel tip D-107	45 CP	—	1 600
Grup electrogen	GST 500	GSC	—	—	—	55 %	38	500	34	370	50 A 22 V	500 A 38 V	1 500	motor diesel tip D-107	45 CP	—	1 740

putere, mărirea siguranței în funcționare și a durabilității, simplificarea muncii de deservire și întreținere, îmbunătățirea condițiilor de lucru în ceea ce privește securitatea muncii.

Seria de convertizoare și grupuri electrogene de sudare fabricate, permite posibilități multiple de alegere și utilizare în cele mai diferite domenii industriale și la diferite metode de sudare. În tabela 1 sînt indicate caracteristicile tehnice ale acestei serii. Semnificația simbolului conform STAS 8143-68 este următoarea: prima literă C sau G indică felul sursei convertizor, respectiv generator de curent continuu, a doua literă S indică destinația, pentru sudare electrică cu arc, iar a treia literă și următoarele indică felul caracteristicilor statice (*C*-coborîtoare, *R*-rigide și *U*-urcătoare).

Specific întregii serii de surse este plaja mare de reglare a curentului de sudare, între 1 și 7,4 și 1 și 12,5, ceea ce permite utilizarea surselor la o gamă foarte variată de lucrări, începînd cu electrozii de cel mai mic diametru. De asemenea, toate sursele funcționează la turația de 1 500 rot/min, ceea ce asigură cheltuieli minime de întreținere și durabilitate mare în exploatare.

Generatoarele sînt de tipul cu excitație independentă și bobinaj serie antagonist.

La convertizoare, pentru alimentarea înfășurării de excitație independentă, din bobinajul unei faze a motorului de antrenare sînt scoase prize la bornele cărora se obține o tensiune monofazată de 90—100 V, cu care se alimentează o coloană redresoare, legată la capetele înfășurării de excitație a generatorului.

Convertizoarele CS 350 și CS 500 au următoarele posibilități de utilizare, asigurate printr-un sistem de comandă și control perfecționat:

— pot fi utilizate la ori care tensiune de rețea trifazată: 220, 380, 440 și 500 V; adaptarea la una dintre aceste tensiuni făcîndu-se în cîteva minute, prin schimbarea unor barete la o placă de borne;

— se poate schimba polaritatea la electrod prin manevrarea unui comutator;

— curentul de sudare se poate regla și de la distanță cu ajutorul unui reostat potențiometric foarte mic, avînd o greutate de 300 g;

— valorile curentului de sudare și tensiunii la borne se pot citi pe aparatele de măsură existente pe tablou;

— excitația generatorului poate fi întreruptă și restabilită, de la un automat de sudare, în care scop tabloul convertizorului este prevăzut cu întreruptor pentru comutarea comenzii și o priză.

Reglarea curentului de excitație la aceste generatoare se face continuu cu ajutorul amplificatorului magnetic, ceea ce a permis realizarea unui sistem de reglare la distanță deosebit

de simplu şi precis. În figura 4 este reprodusă parţial schema electrică a acestor tipuri de convertizoare, şi anume, partea în legătură cu sistemul de excitaţie şi reglare la distanţă.

Puntea redresoare REAM este alimentată cu o tensiune alternativă monofazată de 90 V.

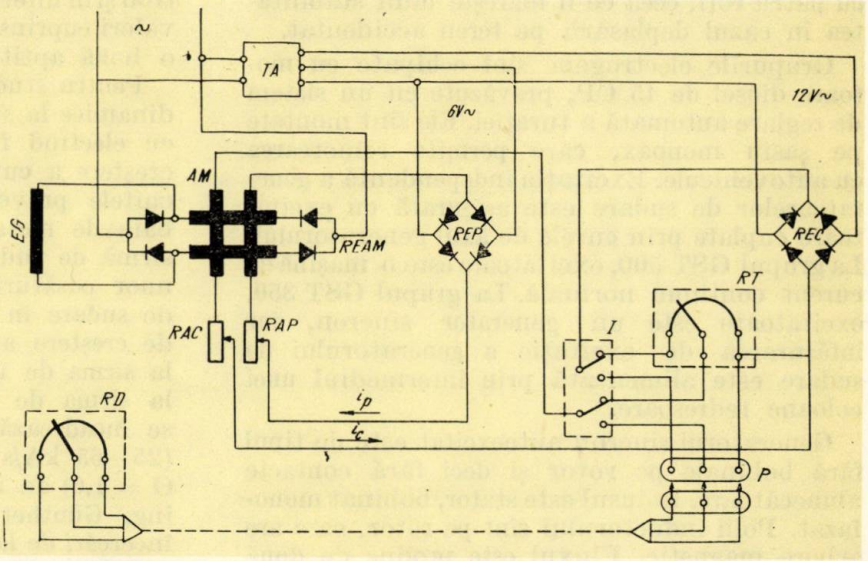


Fig. 4. Reglarea curentului de excitaţie cu amplificator magnetic şi reglarea de la distanţă:

TA — transformator auxiliar; *REC* — redresor pentru circuitul de comandă; *REP* — redresor pentru circuitul de polarizare; *RT* — reostat potenţiometric de reglare de la tablou; *I* — comutator de comutare a reglajului; *RAC* — rezistenţă de ajustare a curentului de comandă; *RAP* — rezistenţă de ajustare a curentului de polarizare; *AM* — amplificator magnetic; *REAM* — punte redresoare; *EG* — bobinajul de excitaţie al generatorului; *P* — priză pentru reglajul la distanţă; *RD* — reostat potenţiometric de reglare la distanţă.

Pe laturile punţii sînt înseriate înfăşurările de lucru ale amplificatorului magnetic AM. Înfăşurările de polarizare şi de comandă ale amplificatorului sînt alimentate de la un transformator auxiliar TA prin intermediul punţilor REP şi REC. Curentul de polarizare i_p, care poate fi ajustat cu rezistenţa RAP, limitează tensiunea minimă de mers în gol. Cu ajutorul reostatului potenţiometric RT se poate regla curentul de comandă i_c al amplificatorului şi deci curentul de excitaţie al generatorului. Reglarea de la distanţă se face cu reostatul RD (identic cu RT), legat printr-un cablu lung la priza P de pe tablou. Cu comutatorul I se comutează posibilitatea de reglaj la tablou (la RT) sau la distanţă (RD). Tensiunea circuitului de comandă este sub 12 V, absolut nepericuloasă pentru sudor, iar curentul maxim circa 0,1 A. Ca urmare, greutatea şi volumul dispozitivului de reglare sînt foarte reduse şi comode pentru manevrat.

Pe lîngă aceste posibilităţi de utilizare, convertizorul CS 500 este prevăzut în plus cu un sistem de reglare a caracteristicilor statice. Acestea pot fi coborîtoare, aşa cum sînt necesare de exemplu la sudarea manuală cu electrozi înveliţi, sau rigide (orizontală sau uşor crescătoare), aşa cum sînt necesare de exemplu la sudarea în mediu de gaz protector. Reglarea caracteristicilor se face în mod continuu, prin decalarea periilor la colector, cu ajutorul unui mecanism manevrat cu mîner situat pe scutul colectorului. Reglarea continuă a caracteristicii statice este foarte avantajoasă, deoarece se poate alege forma cea mai potrivită a caracteristicilor statice, pentru operaţia de sudare efectuată. Posibilitatea de reglare a caracteristicilor statice, măreşte mult domeniul de utilizare a convertizorului CS 500, la diferite metode de sudare, aşa cum este indicat în tabela 2.

Convertizoarele CS 3 şi CS 5 au o construcţie mai robustă, cu un sistem de reglaj şi comandă simplificat, potrivit unor condiţii mai grele de lucru. Ele sînt fabricate în conformitate cu STAS 8143-68 şi prin aceasta corespund recomandării ISO pentru materiale de sudare şi VDE 0540/2-65.

Pe lîngă schimbarea schemei de comandă şi control, la convertizorul CS 3 sînt aduse şi

Tabela 2

Procedeul de sudare	Convertizorul CS 500	
	reglat pentru caracteristici coborîtoare	reglat pentru caracteristici rigide (orizontale sau uşor crescătoare)
Sudare manuală cu electrozi înveliţi cu înveliş acid, rutilic, celulozic, bazic etc.	da	—
Sudare în mediu de gaz protector cu electrod fuzibil (MIG) a oţelului, metalelor uşoare şi aliaje de cupru	—	da
Sudare în mediu de gaz protector cu electrod nefuzibil (TIG) sau (WIG) a oţelului şi aliajelor de cupru	da	—
Sudarea sub strat de flux	da	da
Tăierea cu electrozi şi craiţuire arc — aer	da	—

Observaţii:

MIG — Metal Inert Gas
TIG — Tungsten Inert Gas
WIG — Wolfram Inert Gas

unele modificări rezultate din studiile făcute cu privire la reducerea zgomotului produs în funcţionare, cum sînt executarea pachetului indus la generator cu crestături înclinate şi o strîngere mai sigură a statorului motorului de antrenare. În plus, convertizorul este prevăzut cu patru roţi, ceea ce îi măreşte mult stabilitatea în cazul deplasării pe teren accidentat.

Grupurile electrogene sînt echipate cu motoare diesel de 45 CP, prevăzute cu un sistem de reglare automată a turaţiei. Ele sînt montate pe şasiu monoax, care permite remorcarea cu autovehicule. Excitaţia independentă a generatoarelor de sudare este asigurată cu excitatoare cuplate prin curele de axul generatorului. La grupul GST-500, excitatoare este o maşină de curent continuu normală. La grupul GST 350, excitatoare este un generator sincron, iar înfăşurarea de excitaţie a generatorului de sudare este alimentată prin intermediul unei coloane redresoare.

Generatorul sincron autoexcitat este de tipul fără bobinaje pe rotor şi deci fără contacte alunecătoare. Indusul este stator, bobinat monofazat. Polii inductorului sînt pe rotor, care are arbore magnetic. Fluxul este produs de două bobine de excitaţie fixate pe stator, concentrice cu axul maşinii, de o parte şi de alta a indusului, şi se închide longitudinal prin carcasă, scuturi şi piesele polare. Lipsa periilor şi inelelor colectoare reduce la minimum lucrările de întreţinere la acest tip de maşină.

Toate generatoarele seriei de surse rotative pentru sudare au fost studiate şi perfecţionate în ceea ce priveşte caracteriticile dinamice, pentru a asigura o bună aptitudine de sudare.

Pentru studiul şi verificarea caracteristicilor dinamice la sudarea manuală, a fost utilizat criteriul obiectiv propus de prof. ing. A. Carrer [2] la Institutul Internaţional de Sudură (I.I.S.) Acest criteriu este larg utilizat în institutele de cercetări din multe ţări, iar în ţara noastră a devenit obligatoriu prin înscrierea lui în standardul de stat 8143-68. Potrivit acestui criteriu, raportul:

$$\rho = \frac{I_{min}}{I_{med}},$$

în care I_{min} este curentul minim care apare după scurtcircuitul produs de trecerea unei picături de metal în baia de metal topit, iar I_{med} este valoarea medie a curentului în regim stabilizat, trebuie să fie mai mare de 0,7. Acest raport a fost determinat prin oscilografierea curentului, în cursul operaţiilor de sudare prin depunerea orizontală pe o placă de oţel, conform metodei de încercare standardizate.

Electrozii folosiţi au fost electrozi cu înveliş bazic EL 50 B, la care transferul de metal de la electrod la cusătură se face prin picături şi deci stabilitatea arcului este pusă în dificultate, iar intensităţile curentului au fost mai mici decît limitele minime recomandate pentru electrozii respectivi, punînd astfel generatoarele în cele mai dificile situaţii în ceea ce priveşte stabilitatea arcului electric. Aceste determinări au fost făcute pentru diferite diametre de electrod şi în diferite domenii de reglaj, obţinîndu-se valori cuprinse între 0,77 şi 0,89, ceea ce indică o bună aptitudine de sudare.

Pentru studiul şi verificarea caracteristicilor dinamice la sudarea în mediu de gaz protector cu electrod fuzibil, s-a determinat viteza de creştere a curentului cînd se produc scurtcircuitele provocate de trecerea picăturilor în baia de metal topit. S-a folosit la încercări sîrmă de sudare S 11 M 2 S pentru sudarea unor cusături orizontale cu un semiautomat de sudare în CO_2 şi s-au determinat vitezele de creştere a curentului de 43,3...60,5 kA/s la sîrma de 1,2 mm diametru şi 33,5...57 kA/s la sîrma de 1,6 mm diametru. Aceste valori se încadrează perfect în limitele recomandate (25—65 kA/s la Ø = 1,2 şi 15—60 kA/s la Ø = 1,6) de ing. Hans — Erik Weinschenk şi ing. Günther Hesse pe baza unor studii şi încercări de la ZIS — Halle din R.D.G.

Prin aceste studii, încercări şi verificări se asigură surselor rotative o bună aptitudine de sudare, care conduce la obţinerea unor cusături de sudură economice şi de bună calitate.

3. Redresoare

În tehnica sudării în curent continuu se constată o creştere continuă a numărului surselor statice. Cauza acestei creşteri rezultă din rezistenţa mai mare la uzură, randamentul mai ridicat şi întreţinerea mai uşoară a surselor statice în raport cu sursele rotative. De asemenea, la redresoare există posibilitatea obţinerii unor caracteristici statice şi dinamice superioare, cu posibilităţi mai mari de a fi variate şi prin aceasta se acoperă un domeniu mai mare de utilizare, obţinîndu-se aptitudini de sudare superioare.

Este cunoscut faptul că dezvoltarea mare a redresoarelor de sudare este determinată de accesul la celulele redresoare cu semiconductoare, în special cele cu siliciu.

În majoritatea cazurilor, la redresoarele de sudare, reglajul curentului se face prin amplificatoare magnetice [3].

Analizăm în continuare, ca fiind mai reprezentativ, redresorul de 500 A, realizat de Institutul de cercetări şi proiectări pentru industria electrotehnică din Bucureşti [4] şi care va intra în fabricaţie de serie în cursul anului 1969 la întreprinderea Electrotehnica din Bucureşti. Acesta este al doilea redresor realizat la ICPE, precedentul fiind de 350 A [5], de care se deosebeşte nu numai prin putere, ci şi prin introducerea unor elemente noi în

schemă. În figura 5 este dată schema de principiu a redresorului de 500 A, iar în figura 6, o caracteristică statică a acestuia.

O caracteristică importantă şi nouă a acestui redresor este aceea că este prevăzut cu amplificator magnetic în montaj, reactanţă saturabilă cu înfăşurările de lucru legate în serie, spre deosebire de redresoarele uzuale la care se face legarea în derivaţie. Rezultă de aici o serie de însuşiri care dau posibilitatea sudării tablelor groase, cît şi a celor subţiri.

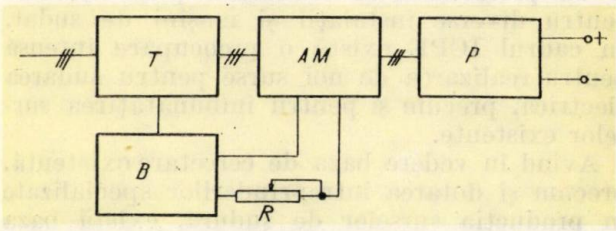


Fig. 5. Schema-bloc a unui redresor de sudură: T — transformator de alimentare; AM — amplificator magnetic trifazat; P — punte redresoare; BC — bloc comandă; R — rezistenţă de reglare a curentului de sudură.

Redresorul poate fi alimentat de la o reţea trifazată de 380 V sau 220 V, schimbarea de la o alimentare la alta făcîndu-se prin trecerea conexiunilor bobinajului primar, ale transformatorului, de la stea la triunghi. Puntea trifazată este formată din 12 celule cu siliciu de 200 A, cu răcire forţată, montate două cîte două în paralel. Reglarea curentului de sudare se face cu ajutorul unui potenţiometru, situat pe redresor, sau la distanţă, la locul de lucru al sudorului.

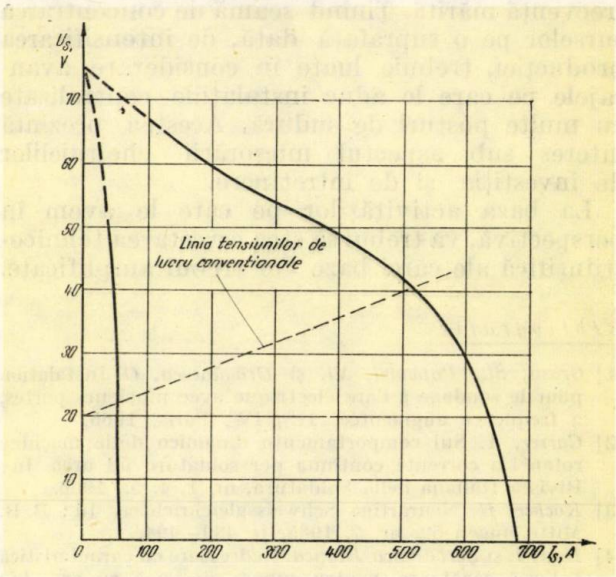


Fig. 6. Caracteristica externă de sudare la redresorul de sudare manuală cu arc, de 500 A.

Motorul ventilatorului, asincron trifazat, este alimentat de la o tensiune mai redusă, fiind astfel mai robust. Intreruperea funcţionării ventilatorului sau inversarea sensului curentului de aer de răcire, sînt puse în evidenţă de un releu de vînt.

Din punct de vedere constructiv se pot menţiona următoarele: pe faţa frontală a şasiului sînt amplasate toate aparatele de comutaţie, comandă, semnalizare, alimentarea prin cablu trifazat precum şi bornele de ieşire pentru sudare.

Pentru curentul nominal de 500 A, durata activă de lucru este de 60%. Curentul este reglabil, fără trepte, în limitele de 100—500 A, iar greutatea redresorului este de circa 290 kg. Acest redresor este primul tip dintr-o serie destinată sudării manuale, care va conţine şi pe cel de 350 A şi 160 A. La acestea se va adăuga şi tipul de 1 000 A pentru sudarea automată sub strat de flux. În figura 7 este dată fotografia redresorului de 500 A.

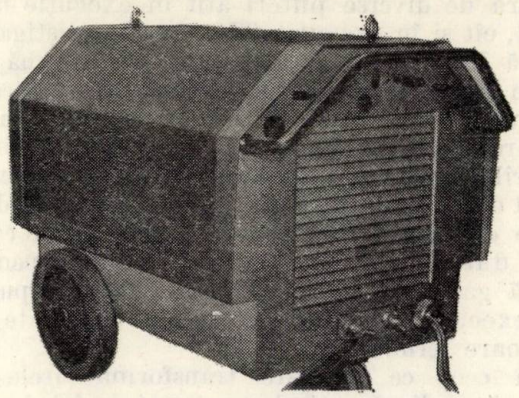


Fig. 7. Redresorul de 500 A.

4. Preocupări de securitatea muncii

Pentru a evita accidentele datorite tensiunii la cleştele electrodului, tensiune care este periculoasă în special în curent alternativ, s-a realizat un aparat de securitate pe care îl fabrică întreprinderea Electrotehnica. Acest aparat micşorează tensiunea de mers în gol la circa 30 V şi funcţionează automat, stabilind tensiunea întreagă prin atingerea electrodului de masa de sudat. El are prevăzut în schemă un element de temporizare, care permite menţinerea tensiunii întregi, un timp scurt, de 2—3 secunde, evitînd astfel dificultăţile care apar la amorsarea arcului în cazul transformatoarelor prevăzute cu aparate de securitate, care nu posedă un element de temporizare. Aparatul conduce concomitent şi la micşorarea pierderilor de mers în gol.

5. Dezvoltarea producţiei şi perspectivele ei

Avînd în vedere importanţa sudării în tehnologia construcţiilor de maşini ca şi în majoritatea sectoarelor industriale, în Republica Socialistă România s-a creat o bază de pro-

ducție importantă pentru fabricația surselor și a mașinilor de sudat. În acest scop în cadrul întreprinderii Electrotehnica din București, s-a creat un sector de producție, care are ca obiect producția surselor de sudură statice — transformatoare și redresoare de sudură — precum și diverse mașini de sudat care utilizează aceste surse.

Uzina mașini electrice București s-a specializat pentru producția surselor rotative de sudură.

Transformatoarele de sudură și grupurile convertizoare sînt exportate în diverse țări din patru continente.

În prezent, în Republica Socialistă România se fabrică o gamă largă de convertizoare de sudură de diverse puteri atît în execuție normală, cît și în execuție TH, care au cîștigat o faimă bine meritată atît pe piața internă, cît și pe piața externă. În vederea diversificării producției de convertizoare de sudură pentru fiecare gamă de puteri s-a realizat pe lîngă tipurile obișnuite, caracterizate printr-un înalt nivel de automatizare și tipuri pentru condiții grele de lucru, care rezistă exploatărilor celor mai dure. De asemenea, s-au realizat pentru toată gama de puteri și pentru toate tipurile de execuție, grupuri de sudură acționate cu motoare termice.

În ceea ce privește transformatoarele de sudură, pe lîngă extinderea gamei de fabricație, se pune un accent deosebit pe îmbunătățirea performanțelor, concomitent cu reducerea greutății proprii acestora. În prezent, întreprinderea Electrotehnica este în curs de modernizare transformatorul de sudură 300 A, tipul de transformator cu cea mai largă utilizare.

În domeniul redresoarelor de sudură, care au utilizare din ce în ce mai largă în diversele procese tehnologice de sudură, se lucrează la asimilarea unei serii unitare, avînd o gamă de la 160 la 1 000 A.

Paralel cu dezvoltarea producției surselor pentru sudarea electrică, în cadrul întreprinderii Electrotehnica se asimilează o gamă largă de mașini și aparate de sudură, care vor utiliza aceste surse. S-a realizat și s-a încercat cu rezultate bune prototipul automatului de sudat sub flux și a semiautomatului de sudat în mediu protector de CO_2. De asemenea, se se lucrează la realizarea semiautomatului de sudat sub flux și a instalației de sudat în mediu argon.

În vederea asigurării nivelului tehnic al utilajelor de sudură fabricate în Republica Socialistă România în vederea satisfacerii nevoilor interne, precum și pentru asigurarea competitivității pe piețele externe, s-a creat o bază de studii, cercetări și experimentări corespunzătoare. Astfel, în cadrul ICTCM există un sector de sudură, care se ocupă cu îmbunătățirea procedeelor tehnologice de sudură, cu stabilirea utilajelor necesare sudurii, precum și cu proiectarea și realizarea prototipurilor pentru diverse instalații și mașini de sudat. În cadrul ICPE există o preocupare intensă pentru realizarea de noi surse pentru sudarea electrică, precum și pentru îmbunătățirea surselor existente.

Avînd în vedere baza de cercetare existentă, precum și dotarea întreprinderilor specializate în producția surselor de sudură, există baza materială pentru o producție variată și la un nivel tehnic satisfăcător.

Există perspectiva creșterii volumului de producție a surselor de sudare electrică cu arc. Aceasta pe de o parte pentru a echipa noile locuri de muncă, iar pe de altă parte pentru a înlocui unele surse vechi, necorespunzătoare. O pondere mare urmează să o aibă construcția surselor de putere mare, pentru sudare automată. Diversificarea va trebui să se dezvolte întrucît creează posibilitatea unei măriri a productivității la locurile de muncă și o creștere a calității lucrului efectuat. Prin diversificare unele surse își vor mări gradul de competitivitate.

Sînt foarte importante perspectivele pe care le deschid unele soluții noi, care conduc la simplificări ale construcției surselor de sudură. Semnalăm pe cele bazate pe utilizarea tiristoarelor și pe cele legate de curentul alternativ de frecvență mărită. Ținînd seamă de concentrarea surselor pe o suprafață dată, de intensificarea producției, trebuie luate în considerare avantajele pe care le aduc instalațiile centralizate cu multe posturi de sudură. Acestea prezintă interes sub aspectul micșorării cheltuielilor de investiție și de întreținere.

La baza activităților pe care le avem în perspectivă, va trebui să stea cercetarea tehnico-științifică ale cărei baze vor trebui amplificate.

Bibliografie

[1] *Grosu, St., Popovici, Vl.* și *Drăgănescu, O.* Instalation pour le soudage à l'arc électrique avec plusieurs portes, a frequence augmentée. IIS/IIW, Paris, 1965.

[2] *Carrer, A.* Sul comportamento dinamico delle machine rotanti a corrente continua per soldaturo ad arco. În: Rivista Italiana della Soldatura, nr. 1, 4, 5., 1956.

[3] *Kocher, H.* Neurartige Schweissgleichrichter. In: B. B. Mitteilungen 52, nr. 7, 1965, p. 489—494.

[4] *Dan, I.* și *Șerbănescu Bianca.* Redresoare cu caracteristică externă căzătoare, pentru sudare electrică cu arc. În: Lucrările I.C.P.E. 21, 1969.

[5] *Finețescu, D., Lepădatu, E.* și *Dan, I.* Agregat de sudură static în curent continuu cu ventile de siliciu. În: Lucrările I.C.P.E., vol. I, 1964, p. 132—149.

Evoluţia fabricaţiei de corpuri de iluminat electric

DUMITRU GLIGORESCU* — Timişoara

CZ 628.94:621.326/7:621.312

Un mediu de muncă normal oferă omului un echilibru fizic şi psihic şi determină totodată menţinerea productivităţii muncii la un nivel ridicat şi reducerea oboselii. Unul dintre cei mai importanţi factori în realizarea unui mediu de muncă corespunzător îl constituie iluminatul, deci implicit şi corpurile de iluminat.

Fabricarea corpurilor de iluminat constituie activitatea de bază a întreprinderii Electrobanat din Timişoara, acestea fiind grupate în : corpuri de iluminat şi semnalizare optică pentru autovehicule, autotractoare, locomotive, vagoane, vapoare ; corpuri de iluminat industriale, incandescente, fluorescente şi cu vapori de mercur.

În anul 1952 au fost fabricate primele corpuri de iluminat şi semnalizare optică pentru autotractoare, iar în anul 1953 primele corpuri de iluminat şi semnalizare optică pentru autovehicule. Aceste produse se caracterizau printr-o linie estetică mai puţin pretenţioasă, avînd repere vopsite sau nichelate, iar dispersoarele erau realizate exclusiv din sticlă. Reflectoarele erau realizate din alamă argintată electrochimic. Tehnologia utilizată era rudimentară, ea constînd din realizarea unor repere prin modelare pe strung, iar altele prin ştanţare, utilizînd scule simple puţin productive. Pentru acoperiri se utiliza în mică măsură nichelarea şi în măsură mai mare vopsirea cu nitrolacuri cu uscare la aer. Neexistînd un laborator nu puteau fi verificaţi indicii fotometrici, ceea ce împiedica asigurarea unei eficienţe corespunzătoare a acestor corpuri de iluminat.

În perioada 1960—1961 au fost asimilate seturile de corpuri de iluminat pentru autocamionul SR 130 şi autotractorul U 29. Aceste seturi au cuprins o gamă variată de faruri şi lămpi care au fost proiectate după principii tehnice moderne.

Farurile pentru autocamioane (farul principal Ø 180 şi farul ceaţă Ø 100) au fost construite pentru montaj îngropat şi prevăzute cu un sistem de reglare vertical şi orizontal al fasciculului luminos. Caracteristicele fotometrice au fost îmbunătăţite atît prin calcularea parabolei reflectoarelor în funcţie de sursa de lumină, cît şi prin aplicarea unei noi tehnologii pentru realizarea suprafeţelor reflectante (depunerea aluminiului în vid).

Un factor determinant la îmbunătăţirea caracteristicilor fotometrice l-a avut înlocuirea vechiului dispersor cu un nou dispersor, cu o altă grupare a lentilelor componente, ceea ce a dus la o distribuţie mai concentrată a iluminării în cazul fazei lungi.

În această etapă nu s-a găsit rezolvarea iluminării în momentul încrucişării autovehiculelor (adică pe fază scurtă), evitarea orbirii conducătorului autovehiculului din sens opus şi asigurarea în acelaşi timp a unei iluminări corespunzătoare pentru siguranţa conducerii.

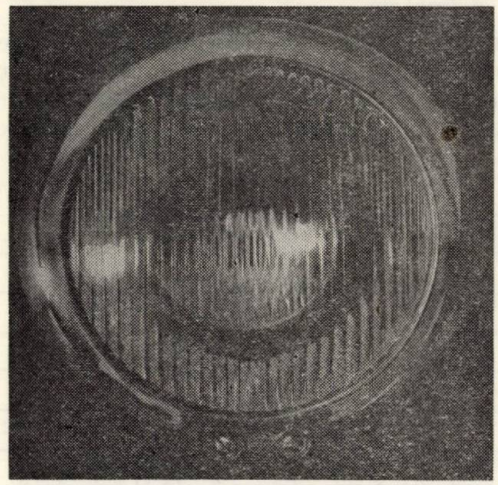


Fig. 1. Dispersor — tip vechi

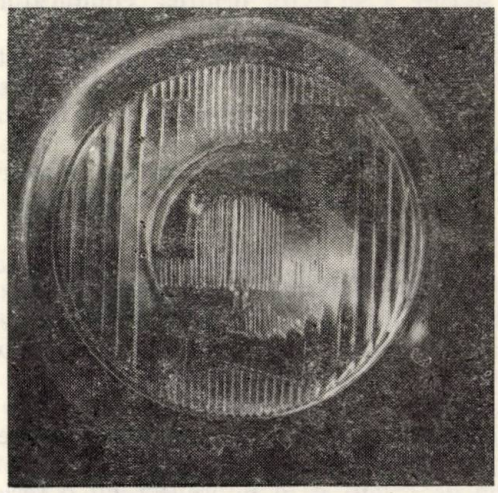


Fig. 2. Dispersor — tip nou

La lămpile de semnalizare au fost înlocuite carcasele metalice cu rame decorative, iar dispersoarele din sticlă au fost înlocuite cu dispersoare din material termoplastic. Aceste schimbări constructive au ameliorat aspectul şi au redus substanţial preţul de cost.

* Ing. *D. Gligorescu* este director la I.I.S. Electrobanat.

Progresul tehnic cunoscut în ultimul timp a condus la o creştere considerabilă a vitezei de circulaţie rutieră. Pentru asigurarea în aceste condiţii a siguranţei în circulaţie a autovehiculelor a fost necesară elaborarea unor noi sisteme de iluminat. Sistemul care a corespuns cel mai bine condiţiilor noi de circulaţie a fost iluminatul cu lumină atenuată asimetrică. În această direcţia Comitetul Economic European (CEE) al ONU-lui a adoptat regulamente unice prin convenţie care obligă semnatarii conferinţei la introducerea iluminatului atenuat asimetric.

Pentru lumina de distanţă, luîndu-se în considerare viteza mare de circulaţie pe şosea, se cere un nivel de iluminare axială suficient de mare pentru asigurarea siguranţei conducerii.

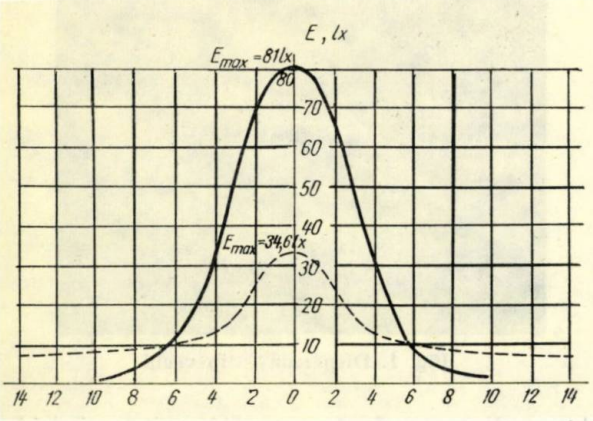


Fig. 3. Curba fotometrică a dispersorului:
——— tip nou; – – – – tip vechi

Pentru momentele de încrucişare a autovehiculelor se cere a se evita orbirea conducătorului autovehiculului din sens opus şi realizarea unei iluminări a şoselei, de asemenea suficient de mare pentru asigurarea conducerii. Respectarea acestor condiţii presupune realizarea în cadrul fasciculului luminos a unor zone de întuneric (pentru evitarea orbirii) precise cu unele zone de lumină puternică (pentru siguranţă în conducere).

În acest scop, un colectiv din cadrul întreprinderii Electrobanat şi-a propus realizarea teoretică şi practică a iluminatului asimetric. Pentru a construi farul cu lumină atenuată asimetrică era necesar să se fundamenteze teoria farurilor (cu reflectoare paraboloidice) în general, bibliografia fiind aproape inexistentă. În faza următoare a fost elaborată o metodă proprie de calcul care împreună cu o serie de experimentări a dus la construirea prototipului farului asimetric.

Primul far asimetric realizat a fost farul Ø170 (tip F.A. 170) care echipează autocamioanele, autobuzele şi autoturismele. Acest tip de far este echipat cu un reflector paraboloidic relativ adînc care permite utilizarea şi dirijarea corectă a unui flux luminos cît mai mare. Dispersorul acestui far este construit din lentile, calculate în mod riguros cu ajutorul metodei de calcul elaborate. Execuţia dispersorului a necesitat scule de mare precizie, precum şi o calitate corespunzătoare a sticlei şi a tehnologiei de fabricaţie. Farul asimetric FA 170 realizat la Electrobanat corespunde condiţiilor din Regulamentul nr. 1 CEE (referitor la faruri auto cu lumină atenuată asimetrică), şi va fi omologat conform CEE în cursul anului 1969. Acest far va înlocui încă în acest an farul simetric Carpaţi Ø 180 şi farul asimetric Bosch importat pentru camioanele destinate exportului.

A fost realizat şi experimentat şi farul tip FA 130 care va echipa seria de autotractoare după licenţa FIAT care au fost dotate iniţial cu faruri simetrice.

În prezent se urmăreşte asimilarea unor noi produse pentru autovehicule avînd la bază următoarele principii:

— respectarea caracteristicilor fotometrice prescrise prin norme internaţionale la proiectarea produselor;

— compatibilitatea estetică a noilor corpuri de iluminat proiectate, cu arhitectura autovehiculelor pentru care sînt destinate;

— concepţia constructivă a produselor în funcţie de materiale şi tehnologii de mare productivitate.

În curs de asimilare este setul de iluminare şi semnalizare optică pentru autoturismul românesc şi farul dreptunghiular asimetric.

Se studiază în prezent realizarea lămpilor prin eliminarea ramelor metalice decorative şi înlocuirea acestora cu repere din material termoplastic metalizat care fac piesă comună cu subansamblu dispersor.

Pentru asigurarea competitivităţii pe piaţa internaţională a farurilor şi lămpilor pentru autovehicule, sînt în curs de realizare reflectoarele farurilor pentru condiţii de climat tropical prin protecţia ulterioară a aluminiului în vid cu un strat de monoxid de siliciu şi realizarea catadioptrilor din polimetacrilat de metil conform regulamentului CEE nr. 3.

Pînă la finele anului 1970, întreprinderea Electrobanat va fi utilată cu un laborator fotometric care va constitui baza asimilării mai multor produse de concepţie proprie la nivelul tehnicii moderne.

În afară de calitate, un alt factor determinant în ceea ce priveşte competitivitatea produselor pe piaţa internă şi externă îl constituie preţul de cost. Preocuparea colectivului nostru în această direcţie este oglindită în graficele din figurile 4 şi 5.

În grupa corpurilor de iluminat industriale ponderea cea mai mare o ocupă cele fluorescente pentru iluminatul interior şi cele cu vapori de mercur pentru iluminatul exterior. În construcţia corpurilor de iluminat fluores-

cente au fost create serii unitare pentru tuburi fluorescente de 20 W, 40 W, şi 65 W (pentru 1, 2, 3 şi 4 tuburi), reducîndu-se astfel numărul pieselor componente şi creînd premisele fabricaţiei de serie mare, cu posibilitatea de aplicare

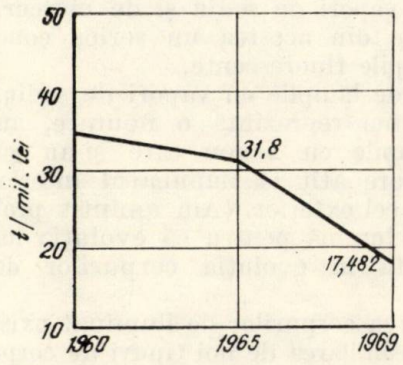


Fig. 4. Dinamica reducerii consumului de metal la corpurile de iluminat pentru autovehicule

a unor tehnologii mai productive şi a unei organizări mai raţionale a fabricaţiei.

În prezent se studiază posibilitatea realizării unor corpuri fluorescente cu dispersoare închise, din polimetacrilat de metil, superioare celor din fabricaţia actuală din punct de vedere estetic, încadrîndu-se în forma modernă a interioarelor social culturale. Aceste produse se vor construi pentru montaj îngropat, semiîngropat şi aparent, caracterizîndu-se printr-un consum mai mic de metal şi mai mare de material termoplastic.

În trimestrul al IV-lea al anului 1968 s-a asimilat corpul de iluminat fluorescent CDIF-AS-01 în şase variante cu o reducere a consumului de metal cu 30% faţă de tipurile similare mai vechi. În grupa corpurilor fluorescente a

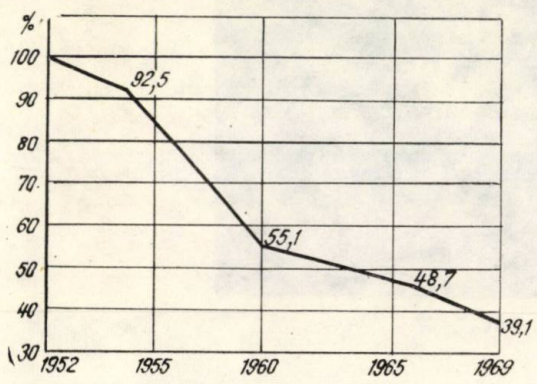


Fig. 5. Dinamica reducerii manoperei la corpurile de iluminat pentru autovehicule

fost asimilat un corp de iluminat de construcţie antideflagrantă 1 ×40 W care corespunde condiţiilor antiexplozive şi antigrizutoase cu utilizare în industria minieră, petrolieră şi chimică etc. Există în fabricaţie un alt tip de corp fluorescent capsulat în variantele 1 ×40 W şi 2 ×40 W pentru încăperi cu praf, cu utilizare mai ales în industria lemnului.

În grupa corpurilor pentru lămpi incandescente, pe lîngă o gamă mare de asemenea

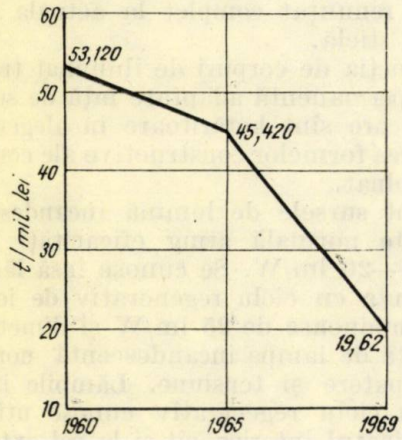


Fig. 6. Dinamica reducerii consumului de metal la corpurile fluorescente pentru iluminatul interior

corpuri pentru condiţii normale, se execută corpuri de iluminat cu siguranţă mărită 40 W, 60 W şi 100 W de construcţie antideflagrantă, pentru condiţii antigrizutoase şi antiexplozive în mai multe variante, cu aceleaşi utilizări ca şi cele fluorescente antideflagrante.

În prezent la întreprinderea Electrobanat se execută un număr restrîns de tipuri de corpuri de iluminat pentru lămpi cu vapori de mercur din care 80% sînt destinate exportului.

În preocuparea colectivului nostru este realizarea unor serii unitare de corpuri de iluminat cu flux dirijat pentru iluminarea şoselelor, străzilor etc., precum şi a corpurilor cu un pronunţat

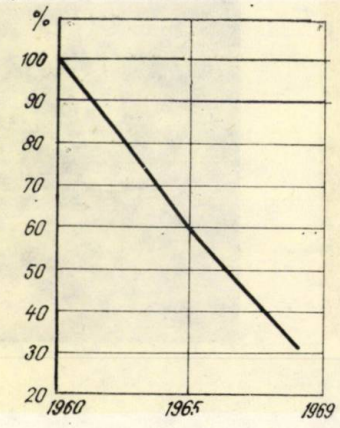


Fig. 7. Dinamica reducerii consumului de manoperă la corpurile fluorescente pentru iluminatul interior

caracter arhitectural ornamental, care să satisfacă cele mai exigente pretenţii ale pieţei interne şi externe. La aceste corpuri de iluminat se pun două probleme mai deosebite,

realizarea carcasei şi a dispersorului. Construcţia turnată a carcasei este superioară celei ambutisate, atît calitativ, cît şi economic, cu condiţia ca turnarea carcasei să se execute în cochilă sub presiune. În ceea ce priveşte dispersorul, el trebuie construit din polimetacrilat de metil şi renunţat complet la actuala construcţie din sticlă.

În construcţia de corpuri de iluminat trebuie să existe o permanentă adaptare faţă de sursele de lumină, care sînt hotărîtoare în alegerea şi dimensionarea formelor constructive ale corpurilor de iluminat.

În prezent sursele de lumină incandescente de capacitate normală ating eficacităţi luminoase de 15—20 lm/W. Se cunosc însă lămpile incandenscente cu ciclu regenerativ de iod cu eficacităţi luminoase de 25 lm/W şi dimensiuni mai mici faţă de lampa incandescentă normală de aceeaşi putere şi tensiune. Lămpile incandescente cu ciclu regenerativ cunosc utilizări atît la iluminatul interior, cît şi la cel exterior, de aici şi sarcina ce ne revine de a realiza corpuri de iluminat utilizînd asemenea surse, atît pentru iluminatul interior, cît şi pentru cel exterior.

Şi în domeniul lămpilor cu descărcări în gaze (lămpile cu fluorescenţă şi lămpile cu vapori de mercur) s-au făcut mari progrese. În ultimele două decenii lămpile cu fluorescenţă erau sursele luminoase de cea mai mare eficienţă, iar în prezent ele sînt depăşite de lămpile cu vapori de mercur şi halogenuri metalice, care realizează o eficacitate luminoasă pînă la 100 lm/W. Totuşi, coeficientul de orbire relativ redus, precum şi o redare fidelă a culorilor într-o gamă largă de nuanţe, caracteristici ale lămpilor fluorescente, fac ca acestea să se situeze încă înaintea celorlalte surse de lumină din punct de vedere al calităţilor luminotehnice, mai ales pentru iluminatul interior. Nu este exclusă posibilitatea de ameliorare a efectului de orbire şi de redare a culorilor la lămpile cu vapori de sodiu şi de mercur, ceea ce ar face din acestea un serios concurent pentru lămpile fluorescente.

În afară de lămpile cu vapori de sodiu, ceea ce pentru noi reprezintă o noutate, au mai apărut lămpile cu xenon care şi-au găsit o largă utilizare atît la iluminatul interior, cît mai ales la cel exterior. (Am amintit problema surselor de lumină pentru că evoluţia lor este determinantă în evoluţia corpurilor de iluminat.)

Ameliorarea corpurilor de iluminat existente, precum şi asimilarea de noi tipuri de corpuri de iluminat, trebuie realizate în concordanţă cu realizările şi perspectivele surselor de lumină. Tendinţa de a fi în pas cu progresul tehnic sub aspectul performanţelor şi a preţului de cost în domeniul corpurilor de iluminat ne obligă în primul rînd la consolidarea bazei tehnico-materiale. Întreprinderea este dotată cu maşini şi utilaje din ţară şi import, moderne dar cu un pronunţat caracter universal, ceea nu le situează la un nivel prea ridicat din punct de vedere al productivităţii. Pentru aceste motive, activitatea de autoutilare a fost dirijată spre specializarea maşinilor universale şi realizarea de agregate. Astfel, prin specializarea unor prese mecanice s-a obţinut la o serie de repere o creştere de productivitate de 800—1 200%. Recent a fost omologat un agregat de şlefuit (fig. 8) care va înlocui şase şlefuitori pe

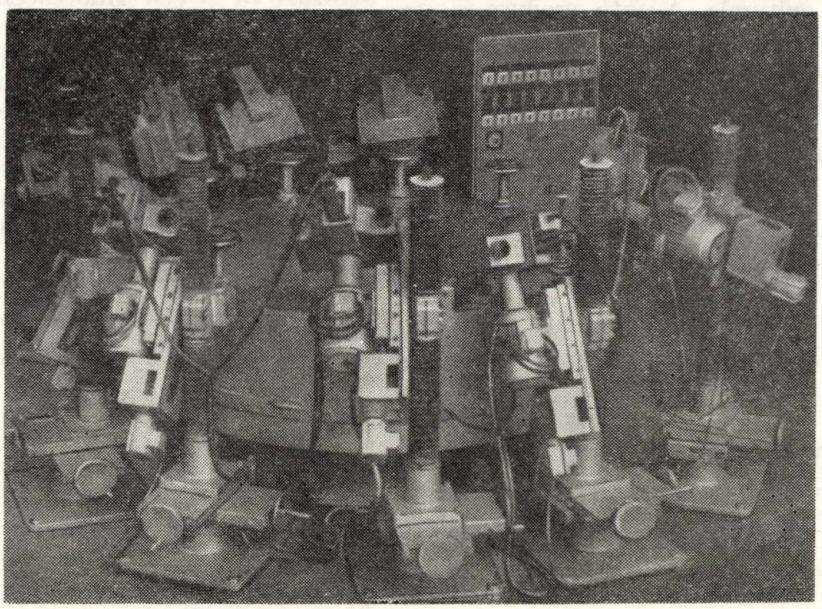


Fig. 8. Agregat de şlefuit

schimb; s-a mai realizat un agregat de capacitate echivalentă cu aceea a trei strunguri automate (fig. 9), iar în trimestrul al II-lea a.c.,

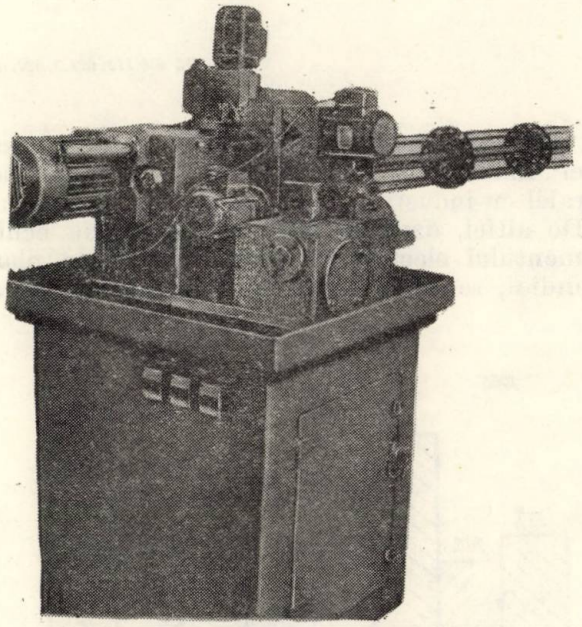


Fig. 9. — Agregat de strunguri automate.

se va da în exploatare un agregat de capacitate echivalentă cu aceea a cinci strunguri automate. Asemenea agregate au mai fost realizate şi multe sînt în fază de execuţie.

În ceea ce priveşte execuţia de SDV-uri, au existat şi există preocupări deosebite pentru creşterea capacităţii secţiei Sculărie şi a calităţii SDV-urilor, aceasta determinînd capacitatea întreprinderii în asimilarea produselor noi. Astfel, pe lîngă introducerea tipizării, a execuţiei stanţelor din segmenţi, a asigurării unor tratamente termice de calitate, în curînd vor fi date în folosinţă unelte pneumatice de mare productivitate, care vor contribui la o creştere apreciabilă a capacităţii matriţeriei. Există preocupări de a introduce în sculărie procedee noi de prelucrare, şi anume au fost realizate primele SDV-uri prin electroeroziune. În trimetrul al II-lea a.c., întreprinderea a fost dotată cu o maşină de prelucrat prin electroeroziune de mare productivitate care va contribui la creşterea potenţialului tehnic al Sculăriei.

Problema organizării ştiinţifice a producţiei şi a muncii ocupă un loc central în activitatea noastră. Deşi s-au întîmpinat multe greutăţi, putem spune că multe din studiile efectuate au fost puse în practică. Astfel, stabilirea loturilor optime şi aplicarea lor, stabilirea personalului auxiliar utilizînd teoria şirurilor de aşteptare, precum şi utilizarea grafelor în asimilarea produselor, sînt cîteva din realizările noastre pe linia organizării ştiinţifice a producţiei şi a muncii. Utilizarea M.T.M.-ului în normare a dus la o creştere a productivităţii muncii cu 15% la montajul corpurilor de iluminat pentru autovehicule şi cu 10% la montajul corpurilor de iluminat fluorescent. Toate acestea au determinat realizarea a 7 500 lei producţie marfă la 1 000 lei mijloc fix în 1968 faţă de 3 200 lei producţie marfă la 1 000 lei mijloc fix în 1965. În anul 1968 colectivul întreprinderii noastre a realizat peste plan 50 milioane lei în producţia globală şi marfă, din care mai mult de jumătate pentru export şi a dat peste plan beneficii de aproape 16 milioane lei. Dacă în anul 1965 în întreprinderea noastră volumul produselor destinate pentru export era neglijabil, în anul 1968, deşi volumul producţiei s-a dublat faţă de anul 1965, s-a ajuns ca 25% din volumul producţiei să fie destinat exportului.

Prin eforturile colectivului nostru se va putea satisface necesarul intern de corpuri de iluminat, iar ţara noastră va putea să se afirme pe piaţa externă şi în domeniul corpurilor de iluminat.

Fabricaţia de echipament electric pentru autovehicule şi perspectivele în acest domeniu

GHEORGHE TRIFU * — Săcele

CZ 629.113: 621.3: 621.312

Dezvoltarea industriei de automobile şi tractoare ca urmare a necesităţilor economiei ţării noastre, a impus şi dezvoltarea producţiei de echipament electric auto. Anul 1950 marchează apariţia primului echipament electric de fabricaţie românească pentru tractorul tip KD-35, cu care ocazie s-au realizat şi primii magneţi de tipul alnico necesari rotoarelor de magnetou şi generator.

Dezvoltarea capacităţilor tehnice şi de producţie la uzinele Electroprecizia—Săcele, Electrobanat, Electromotor—Timişoara, Uzina de Maşini Electrice—Bucureşti şi Electromagnetica—Bucureşti face posibilă fabricarea în 1954 a unui sortiment larg de echipament electric auto pentru echiparea autocamionului SR-101.

Diversificarea producţiei de automobile şi tractoare impune perfecţionarea şi însuşirea de noi sortimente de echipament electric auto, problemă rezolvată cu succes de constructorii acestui echipament. Ca rezultat al progresului tehnic înregistrat în producţia de echipament electric auto, toate tipurile de automobile şi tractoare ce se fabrică la această dată în ţara noastră funcţionează cu echipament electric indigen. Pentru a se face faţă numărului deosebit de mare de sortimente din echipamentul electric auto cerute de dezvoltarea şi diversificarea producţiei de autovehicule, a fost necesar ca de la început producţia echipamentului electric să se repartizeze pe mai multe uzine, una dintre ele, cu ponderea cea mai mare ca valoare a producţiei şi număr de sortimente fabricate avînd rol de coordonare. În figura 1 se vede repartizarea procentuală a valorii producţiei de echipament electric auto pe uzine pentru anii 1965 şi 1969.

Creşterea necesarului, precum şi particularităţile echipamentului electric auto faţă de echipamentul electric industrial a impus specializarea unei întreprinderi în fabricaţia acestuia. Astfel, în 1972 întreaga producţie de echipament electric auto se va asigura de, uzina Electroprecizia—Săcele, mai puţin farurile şi celelalte corpuri de iluminat auto, lămpile electrice, acumulatoarele şi cablajele pentru care s-au creat condiţii de dezvoltare şi specializare a altor întreprinderi.

Urmărind drumul parcurs privitor la dezvoltarea producţiei de echipament electric auto pînă acum, precum şi perspectivele acestui fel de producţie, putem afirma că s-a pus baza unei industrii a echipamentului electric în paralel cu industria de automobile şi tractoare.

De altfel, dacă se urmăreşte evoluţia echipamentului electric al automobilelor pe plan mondial, se constată că în 1932 acesta costa

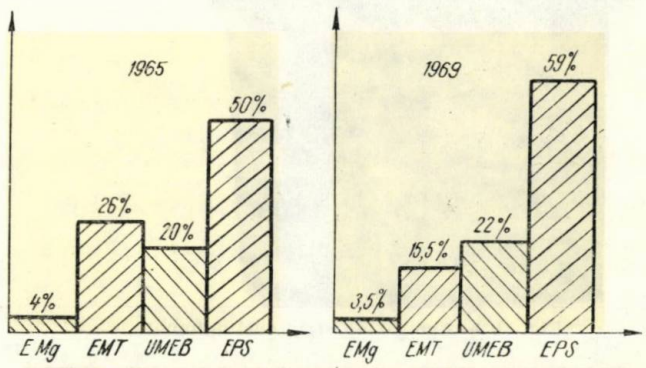


Fig. 1. Repartizarea producţiei de echipament electric auto pe întreprinderi:
EMg — Electromagnetica — Bucureşti; *EMT* — Electromotor — Timişoara; *UMEB* — Uzina de Maşini Electrice — Bucureşti; EPS — Uzina Electroprecizia — Săcele.

5% din costul integral al unui automobil, iar azi ajunge pînă la 25% în cazul autoturismelor de putere cu grad înalt de confort, ceea ce explică necesitatea dezvoltării unei industrii a echipamentului electric auto.

Modernizarea camionului SR-101 prin introducerea ştergătorului de parbriz electric şi a semnalizării electrice, modernizarea, în totalitate, a camionului, prin introducerea tipului SR-131 şi derivatele lui, modernizarea tractorului UTOS-26 prin trecerea la tractorul U-450 şi ulterior U-650, ambele cu pornire electrică, a reclamat echipament electric în plus, în acelaşi timp îmbunătăţindu-se simţitor şi parametrii autovehiculelor respective. Toate aceste progrese în industria de automobile şi tractoare nu ar fi fost posibile fără progresele corespunzătoare în producţia de echipament electric, atît din punct de vedere al sortimentelor şi performanţelor, cît şi din punct de vedere al creşterii capacităţilor de producţie.

În figura 2 sînt reprezentate creşterea producţiei de echipament electric la Uzina Electroprecizia—Săcele în perioada 1959—1969, precum şi previziuni pentru 1972, respectiv creşterea producţiei de echipament electric auto în ansamblu în aceeaşi perioadă, iar în figura 3, creşterea numărului de sortimente

* *Gh. Trifu* este inginer şef la Uzina Electroprecizia—Săcele

electrice pe autovehicul pe măsura modernizării acestuia.

Modernizarea pe parcurs a echipamentului electric însuşit de uzina Electroprecizia a

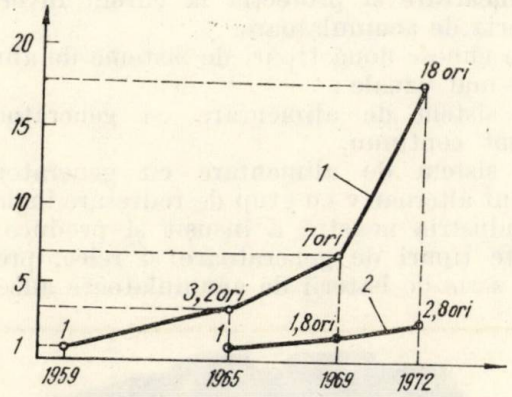


Fig. 2. Creşterea producţiei de echipament electric auto faţă de nivelul anului 1959 :
a — la Uzina Eelctroprecizia ; *b* — în ansamblu.

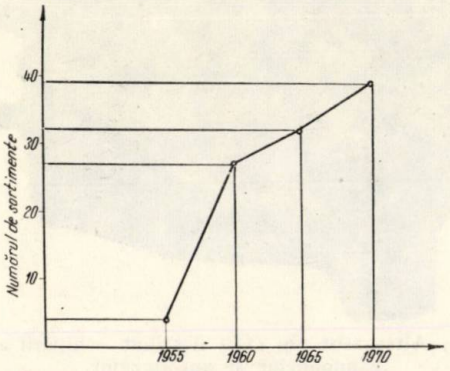


Fig. 3. Creşterea numărului de sortimente electrice prin modernizarea autovehiculelor (cazul echipamentului electric pentru tractoare) :

Anul	1955	1960	1965	1970
Sisteme electrice principale existente pe autovehicul	— iluminare	— iluminare	— iluminare	— iluminare
		— alimentare	— alimentare	— alimentare
		— pornire	— pornire	— pornire
		— semnalizare	— semnalizare	— semnalizare
			— ştergător parbriz	— ştergător parbriz
				— aparate de măsură

avut, pe lîngă ridicarea parametrilor din punct de vedere calitativ şi un efect economic deosebit, aşa cum rezultă şi din diagramele din figurile 4 şi 5.

Clasificarea echipamentului electric auto

Un echipament electric complet de autovehicul cuprinde grupe de aparate sau maşini care servesc unor scopuri bine determinate. Fiecare grup de maşini şi aparate formează un sistem. După funcţia pe care o îndeplinesc, distingem următoarele sisteme pe care le enumerăm în ordinea în care au apărut, aproxi-

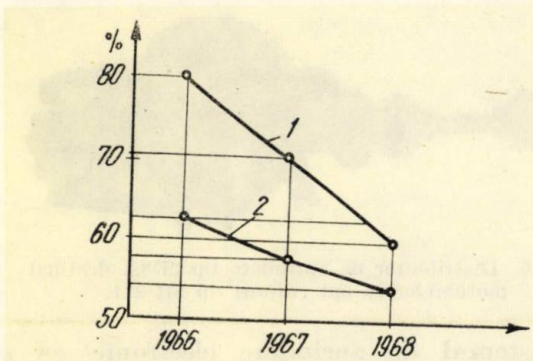


Fig. 4. Reducerea cheltuielilor de fabricaţie la 1 000 lei producţie marfă pentru ultimii trei ani, la Uzina Electroprecizia :
1 — echipament electric pentru autocamion ; *2* — echipament electric pentru tractor.

mativ cronologic, în cadrul schemei autovehiculelor :

1 — sistemul de aprindere a amestecului combustibil ;
2 — sistemul de alimentare cu energie electrică ;
3 — sisteme de măsură şi control ;
4 — sisteme de semnalizare şi iluminare ;
5 — sisteme de pornire ;
6 — aparate de întrerupere şi comutare ;
7 — aparataj auxiliar.

1. Sistemul de aprindere produce scînteile pentru aprinderea amestecului combustibil din

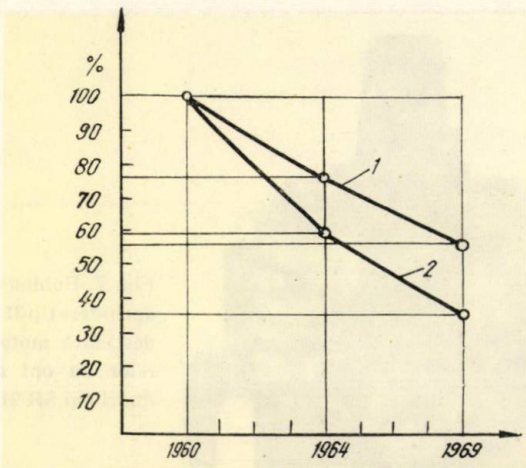


Fig. 5. Reducerea consumului specific de manoperă la produsele de echipament electric fabricate la Electroprecizia, faţă de nivelul anului 1960 :
1 — echipament electric pentru camion ; *2* — echipament electric pentru tractor.

interiorul cilindrilor, motoarelor cu ardere internă. El este compus dintr-o sursă de energie, generator de înaltă tensiune, distribuitor şi bujii.

Actualmente, sînt mai utilizate următoarele sisteme de aprindere :

— sistem de aprindere în curent alternativ cu magnetou, în care sursa de energie şi gene-

ratorul de înaltă tensiune sînt înglobate într-o singură mașină (magnetou);

— sistemul de aprindere în curent continuu cu bobină de inducție și distribuitor, sursa de energie electrică fiind bateria de acumulatoare;

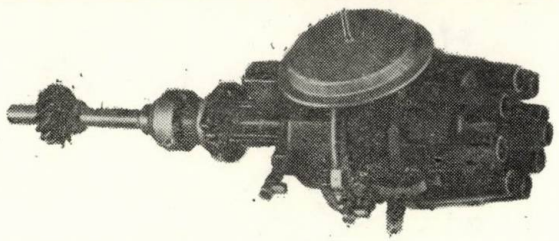


Fig. 6. Distribuitor de aprindere tip 2D8A destinat motoarelor cu opt cilindri tip SR 211.

— sistemul de aprindere electronic cu și fără contacte.

În cadrul sistemului de aprindere, industria electrotehnică a însușit și produce actualmente patru tipuri de magnetouri, cu una, două și patru scîntei, șase tipuri de distribuitoare pentru patru, șase și opt cilindri și două tipuri de bobine de aprindere.

Ca elemente reprezentative ale produselor fabricate de Uzina Electriprecizia pentru sistemele de aprindere sînt:

— magnetoul tip M4/2 destinat echipării tractoarelor de 130 CP pe șenile, tip S 1300;

— distribuitorul de aprindere tip 2D8A destinat motoarelor cu opt cilindri tip SR 211 care echipează camioanele și autobuzele (fig. 6);

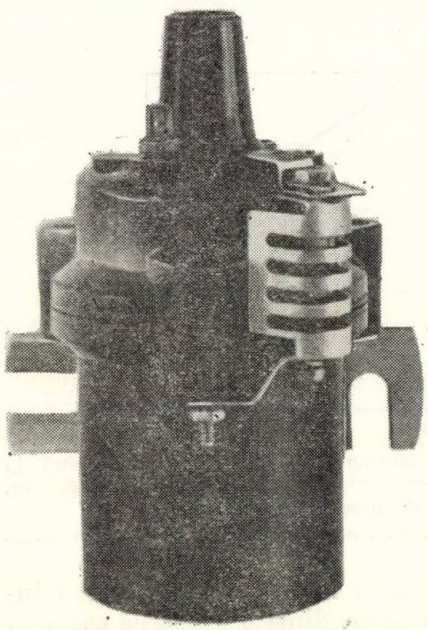


Fig. 7. Bobină de aprindere tip 3110 destinată motoarelor cu opt cilindri tip SR 211.

— bobina de aprindere tip 3110 destinată echipării motoarelor SR 211 (fig. 7).

Sistemul electronic este în studiu, aplicarea sa fiind indicată la motoare cu turație mare și la motoare cu un număr mare de cilindri.

2. Sistemul de alimentare asigură energia electrică la bordul autovehiculului și este format din generator, releu regulator (cu funcția de reglare a tensiunii, limitarea curentului de încărcare și protecția la curent invers) și bateria de acumulatoare.

Se cunosc două tipuri de sisteme de alimentare mai uzuale:

— sistem de alimentare cu generator de curent continuu,

— sistem de alimentare cu generator de curent alternativ cu grup de redresare înglobat.

Industria noastră a însușit și produce mai multe tipuri de generatoare și relee, precum și o serie de baterii de acumulatoare adecvate

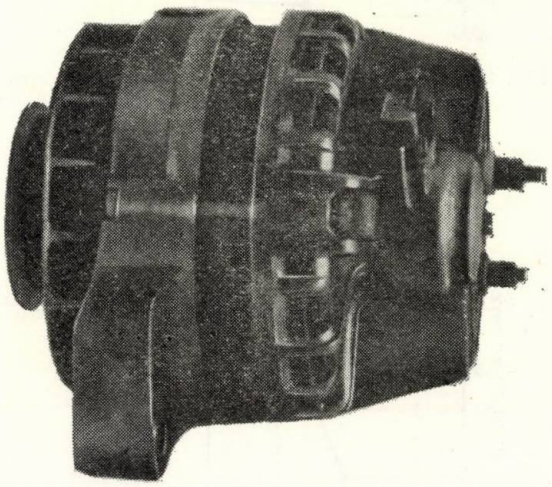


Fig. 8. Alternator tip 1110 destinat echipării autocamioanelor și autobuzelor.

autovehiculelor ce se produc azi în țară. Sistemul de alimentare în curent alternativ pentru actualele vehicule a fost studiat și pus în fabricație de serie în cursul acestui an.

Pentru ilustrare prezentăm:

— generatorul de curent continuu tip 3G300U destinat echipării tractoarelor U-650, S-650 și variantelor sale;

— generatorul de curent alternativ (alternator tip) 1110 destinat echipării autocamioanelor și autobuzelor (fig. 8);

— regulatorul de tensiune tip 1410 destinat funcționării în schema autivehiculelor prevăzute cu alternator.

3. Sistemul de măsură și control electric, asigură verificarea funcționării autovehiculului în mers, indicînd viteza numărul de kilometri parcurși, curentul sau tensiunea de încărcare, temperatura apei de răcire, presiunea uleiului de ungere, nivelul benzinei în rezervor și numărul de ore de funcționare al autovehiculului.

În general măsurarea se realizează cu ajutorul unor aparate indicatoare și traductoare adecvate mărimii de măsurat. După principiul de funcționare, aparatele pentru măsurare,

care echipează în mod curent autovehiculele, se clasifică în:

— aparate cu termovibrator cu bimetal;
— aparate electromagnetice;
— aparate cu inducție.

Autovehiculele actualmente fabricate în țară sînt echipate cu sistem de măsură și control indigen format din vitezometru cu totalizator de kilometri, contor de ore, indicator de temperatură cu traductor cu bimetal, indicator de presiune cu traductor cu bimetal indicator de curent, indicator de nivel benzină, cu traductor rezistiv.

Sînt în curs de asimilare noi tipuri de aparate de măsură și control de construcție modernă, dintre care o mare parte sînt din categoria indicatoarelor electromagnetice. Producția noilor tipuri va începe în acest an.

4. Sistemul de semnalizare și iluminare asigură semnalizarea optică, avertizarea acustică, iluminarea șoselei în timpul nopții, precum și iluminarea autovehiculului în staționare noaptea. Aceste funcțiuni se realizează cu ajutorul unui numeros aparataj însușit de industria electrotehnică, dintre care enumerăm releul de semnalizarea direcției, claxonul, farurile, lămpile de poziție, lămpile de semnalizare față și spate, iluminatorul de număr etc.

Sînt în curs de însușire noi tipuri de aparate din cadrul sistemului de semnalizare și iluminare, dintre care amintim farurile pentru iluminare asimetrică, relee de semnalizarea direcției de puteri mai mari și claxoane.

5. Sistemul de pornire asigură pornirea motorului autovehiculului și este format din bateria de acumulatoare, demaror și releul de pornire al demarorului.

Industria electrotehnică produce actualmente demaroare de mai multe puteri, printre care demarorul tip D 1,2/12 cu cuplare prin inerție și demaroarele 2D4/12 și D6/24 cu cuplare prin indus deplasabil, precum și două tipuri de relee de pornire. Sînt în curs de pregătire o serie de demaroare cu cuplare forțată, care vor echipa actualele și noile autovehicule ce se vor produce în țară, demaroare ce vor asigura o mai mare siguranță în funcționare și o serie de avantaje economice.

6. Aparatele de întrerupere și comutare asigură comutarea și întreruperea sau restabilirea circuitelor din cadrul schemei electrice a autovehiculelor, acestea fabricîndu-se actualmente într-un sortiment foarte variat.

Progresele făcute în acest domeniu pe plan mondial au determinat și pe constructorii noștri să studieze și să pregătească noi tipuri de întreruptoare și comutatoare mai economice și avînd mai multe funcțiuni concentrate în aceeași construcție.

7. Aparatajele auxiliare sînt în general aparataje care îndeplinesc funcțiuni auxiliare, ca de exemplu ștergătorul de parbriz, motorul aerotermei de încălzire a cabinei, bricheta electrică etc. Și acestea au făcut obiectul preocupării industriei electrotehnice care a produs cîteva tipuri de asemenea aparataje.

De curînd s-a pus în fabricație un nou tip de motor pentru aerotermă și este în curs de asimilare un nou tip de ștergător de parbriz avînd un electromotor cu două viteze.

Am trecut pe scurt în revistă sistemele care compun echipamentul electric al unui autovehicul, pentru a pune în evidență diversitatea lui și eforturile depuse de colectivele industriei electrotehnice în rezolvarea numeroaselor probleme puse de însușirea acestui echipament.

După cum se desprinde din cele expuse, industria electrotehnică a însușit și pus în fabricație sistemele clasice de echipamente electrice valabile încă și azi în industria automobilelor și au în studiu soluții noi în cadrul sistemelor echipamentului electric auto. Aceste sisteme clasice au fost în permanență îmbunătățite constructiv și tehnologic, ceea ce a condus la o permanentă ridicare a parametrilor calitativi și economici.

Imbunătățirea sistemelor clasice și tendințe în fabicația de echipament electric auto

Dezvoltarea producției de autovehicule pe plan mondial, ridicarea pretențiilor consumatorilor privitor la mărirea duratei de viață, securitatea circulației pe drumurile publice în condițiile de viteză mărită, mărirea gradului de confort, reducerea consumului de combustibil și altele au determinat pe constructori să studieze și să aplice și în cadrul echipamentului electric noile cuceriri ale științei și tehnicii.

Vom expune, pentru trei dintre sisteme (alimentare, aprindere și măsură), preocupările colectivului uzinei Electroprecizia pentru modernizarea acestora și încadrarea în tendințele mondiale privind producția de echipament electric auto.

1. Sistemul de alimentare. Sistemele de alimentare cu alternator au început să fie din ce în ce mai răspîndite înlocuind sistemele de alimentare cu dinam. Alternatoarele pentru autovehicule cuprind un generator sincron, de obicei trifazat, la care se adaugă o punte de diode redresoare cu siliciu încorporată în produs. În felul acesta alternatoarele sînt mai robuste și au o construcție mai simplă decît dinamurile, în special datorită înlocuirii colectorului cu lamele prin inele colectoare. Principalele avantaje pe care le prezintă alternatorul față de dinam sînt:

— durată de viață superioară;

— greutate şi dimensiuni reduse (în fig. 9 sînt schiţate gabaritele pentru un dinam de 300 W şi un alternator de 500 W);

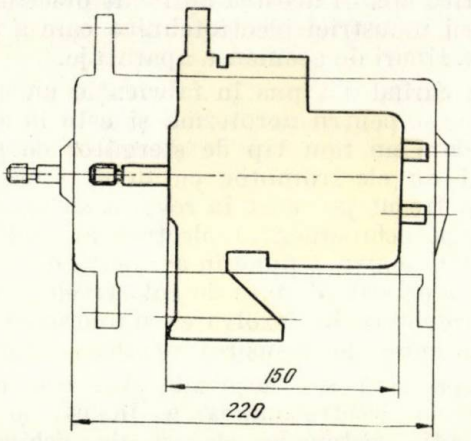


Fig. 9. Comparaţia dimensiunilor de gabarit pentru dinamul de 300 W şi alternatorul de 500 W destinate echipării tractoarelor:
——— dinam 300 W, 12 V construcţie închisă destinat tractoarelor (punerea în fabricaţie 1965); ——— alternator 500 W, 12 V cu inelele colectoare închise etanş destinat tractoarelor (punerea în fabricaţie 1969).

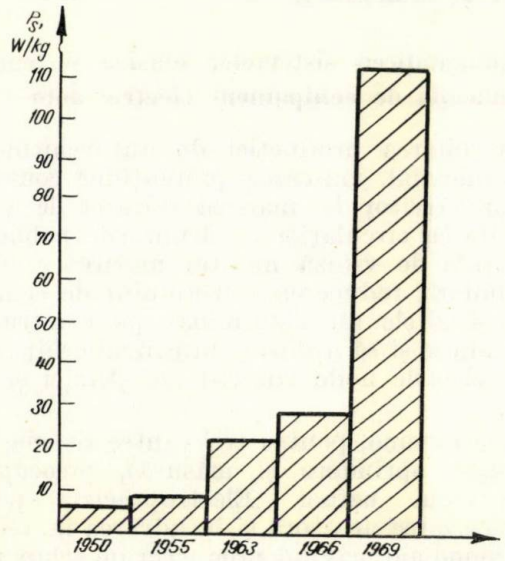


Fig. 10. Creşterea puterii specifice la generatoarele de tractor fabricate la uzina Electroprecizia.

Anul	1950	1955	1963	1966	1969
Tipul generatorului	3G1	6G1	G300U	3G300U	1132
Putere, W	60	60	300	300	500
Greutatea, kg	8,5	6,3	13,5	10,5	4,5
Puterea specifică, W/kg	7,05	9,5	22,2	28,5	111

— posibilitatea obţinerii unei puteri superioare la gabarite foarte mici (în fig. 10 este arătată creşterea de-a lungul anilor a puterii specifice W/kg pentru generatoarele de tractor fabricate la uzina Electroprecizia);

— turaţia de început de debitare mai coborîtă, ceea ce face ca alternatorul să poată acoperi şi bilanţurile energetice ale autovehiculelor utilizate în exploatare urbană (autovehicule la care, de regulă, motorul funcţionează la turaţie redusă).

În figura 11 se arată comparativ curbele de debit pentru un dinam şi un alternator, din care rezultă avantajele nete ale alternatorului în privinţa puterii debitate. Cunoscînd aceste avantaje uzina Electroprecizia a studiat şi perfecţionat diverse variante de alternatoare

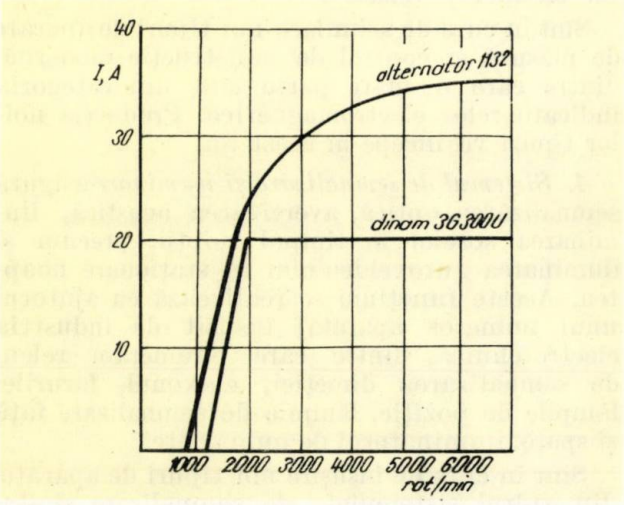


Fig. 11. Comparaţie între curbele de debit ale dinamului 3G300U (300 W, 12 V, 10,5 kg) şi alternatorul 1132 (500W, 12V, 4,5 kg).

cu soluţii originale, cum ar fi alternatorul de construcţie ventilată avînd inelele colectoare închise etanş, destinat utilizării pe tractoare, obţinînd indici tehnici şi economici corespunzători.

Comparăm în tabela 1 principalele performanţe ale acestor alternatoare cu performanţele dinamurilor care au echipat pînă în prezent tractoarele româneşti, comparaţie pe care o considerăm edificatoare.

Uzina are în studiu perfecţionarea în continuare a alternatoarelor prin reducerea numărului de diode şi reducerea în continuare a gabaritelor şi greutăţii produsului. De asemenea au fost efectuate o serie de lucrări de studiu şi proiectare în urma cărora, în uzina Electroprecizia s-a realizat, cu titlu experimental, o serie unitară de alternatoare cu treptele de putere 250—500—750—1 000 W, cu care ocazie s-au tras şi concluzii asupra unor elemente necesare pentru calculul alternatoarelor. În baza încercărilor efectuate s-a determinat influenţa dimensiunilor pieselor componente şi a calităţii materialelor utilizate asupra performanţelor alternatoarelor. Din punct de vedere constructiv şi tehnologic s-a ţinut seama ca la alternatoarele acestei serii să se respecte prin-

Tabela 1

Performanțe	Dinam 3G300U	Alternator 1130
Greutate (fără roata de antrenare), kg.	10,3	4,5
Putere nominală, W	240	420
Turație maximă admisă, rot/min.	3 500	12 000
Turație de început de încărcare, rot/min.	1 200	980
Numărul de elemente necesare la releul regulator.	3	1

cipiul tipizării și similitudinii maxime a pieselor și ansamblurilor. Modelele acestei serii experimentale sînt ilustrate în figura 12.

Ca urmare a trecerii de la generatoarele de curent continuu la alternatoare s-a pus problema realizării unor noi relee regulatoare. Releele regulatoare pentru generatoarele de curent continuu cuprind trei elemente : releul conjunctor — disjunctor, releul regulator de tensiune și releul limitator de curent. Releele regulatoare pentru alternatoare au o construcție simplificată față de cele destinate generatoarelor de curent continuu, în special datorită eliminării unor funcțiuni care sînt preluate de alternator, și anume :

— redresorul alternatoarelor realizează protecția împotriva curenților inverși, făcînd astfel inutil releul conjunctor disjunctor ;

— datorită creșterii reactanței statorice o dată cu creșterea turației, alternatorul își autolimitează curentul făcînd inutil limitatorul de curent.

Ca urmare, releele regulatoare pentru alternatoare cuprind, în general, numai elementul regulator de tensiune. Deși există tendința de a se trece la releele regulatoare electronice, în prezent, datorită prețului încă ridicat al semiconductoarelor, pentru alternatoarele de puteri obișnuite (300—700 W) se folosesc încă regulatoarele electromagnetice cu contacte. Prin perfecționările aduse în special releelor cu două perechi de contacte, acestea satisfac cerințele funcționale, avînd în același timp un preț de cost redus față de releele regulatoare pentru generatoarele de curent continuu.

În viitor, se prevede, o dată cu ieftinirea semiconductoarelor, trecerea la fabricația releelor regulatoare electronice, care prezintă avantajul eliminării contactelor și deci și a defecțiunilor provenite din cauza uzurii acestora.

În acest sens s-au executat, la uzina Electroprecizia, diferite modele de relee regulatoare electronice cu semiconductoare cu germaniu destinate funcționării în medii temperate, precum și regulatoare cu semiconductoare cu siliciu, destinate a funcționa în medii cu temperaturi ridicate.

Experimentarea în exploatare a acestor modele a dat rezultate bune.

2. Sistemul de aprindere. În privința sistemelor de aprindere de la baterie există în prezent două preocupări principale :

— mărirea performanțelor sistemelor actuale ;

— adaptarea cît mai judicioasă a sistemului la cerințele motorului, în scopul atingerii performanțelor maxime.

Performanțele sistemelor de aprindere depind în special de :

— sistemul de întreruptor adoptat ;

— caracteristicile bobinei ;

— sistemele de avans adoptate.

Pe baza studiilor efectuate pînă în prezent, s-a putut îmbunătăți comportarea contactelor

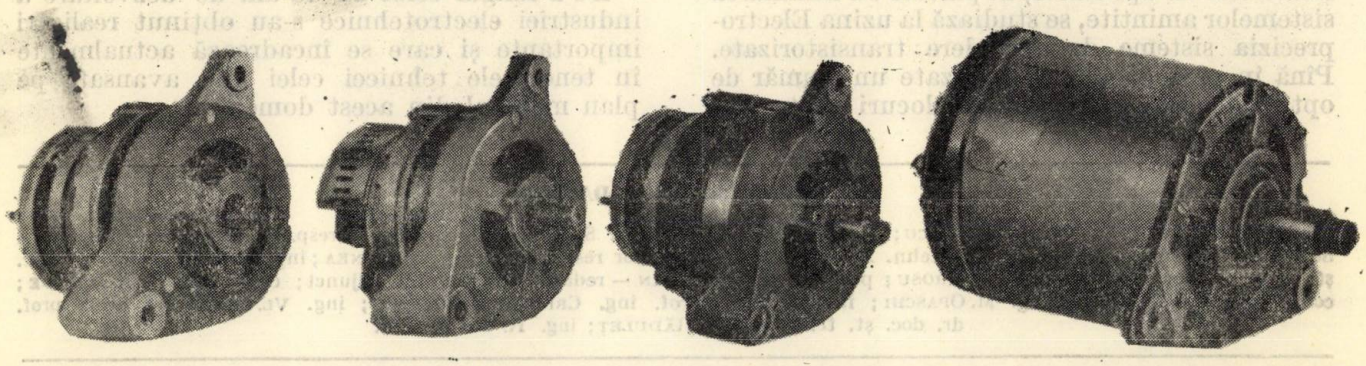


Fig. 12. Modele experimentale pentru o serie unitară de alternatoare de 250—500—750—1000 W.

și a ciocănelului întreruptorului la sistemele de aprindere clasice (distribuitor de aprindere pentru opt cilindri).

În viitor urmează să se introducă, în fabricație un distribuitor cu mecanism întreruptor autocurățitor după licența Ducellier. Acest mecanism realizează autocurățirea contactelor în timpul mersului autovehiculului prin depla-

sarea contactului mobil față de contactul fix, folosind mișcările transmise de la membrana automatului de avans prin depresiune. Prin utilizarea întreruptorului autocurățitor se consideră că durata de funcționare a contactelor va putea fi mărită de aproximativ patru ori, fără a fi necesară curățirea periodică a acestora.

Totodată se vor aduce și perfecționări, dintre care amintim : prevederea pe distribuitorul de aprindere al autocamioanelor, pe lîngă sistemul de avans vacuumatic existent în prezent, a unui sistem de avans centrifugal, necesar reglării automate a momentului producerii scînteii. Această îmbunătățire permite o mai bună adaptare a distribuitorului la motor. Distribuitorul cu două sisteme de avans va avea dimensiuni și greutate redusă față de distribuitorul actual cu un singur sistem de avans.

Pentru dezvoltarea în viitor a producției distribuitoarelor se are în vedere crearea unei serii unitare, folosind la maximum principiul tipizării și similitudinii între piesele și subansamblele diferitelor distribuitoare din această serie. Pe aceste principii este în curs de asimilare distribuitorul care va echipa motorul termic al noilor autoturisme românești. În ceea ce privește bobina de aprindere, s-au asimilat recent în fabricație bobine de o construcție nouă la care s-a înlocuit masa de umplere bituminoasă prin ulei electroizolant, ținîndu-se astfel seama de tendința de extindere a bobinelor în ulei datorită proprietăților superioare din punct de vedere al izolării și al răcirii. Avînd în vedere tendința actuală de a se mări în continuare performanțele și durabilitatea sistemelor de aprindere, în paralel cu asimilarea sistemelor amintite, se studiază la uzina Electroprecizia sisteme de aprindere transistorizate. Pînă în prezent au fost realizate un număr de opt modele experimentale de blocuri electronice care funcționează împreună cu distribuitoare de aprindere cu contacte și cu bobine de aprindere speciale. Încercările efectuate pînă în prezent în laborator și în exploatare au dat rezultate promițătoare, atît în ceea ce privește mărirea performanțelor electrice, cît și în ceea ce privește reducerea uzurii contactelor.

Menționăm că modelele amintite au fost realizate după cercetări, folosind transistoare cu germaniu fabricate în țară.

3. Sistemul de măsură și control. Preocuparea actuală pe plan mondial privitor la sistemele de măsură și control a autovehiculelor, se orientează în special asupra măririi preciziei de funcționare și a duratei de viață. De asemenea, se observă tendința de utilizare din ce în ce mai largă a avertizoarelor optice în locul sau în completarea aparatelor indicatoare. Pe această linie uzina Electroprecizia a efectuat studii și încercări în vederea însușirii noilor tipuri de aparate indicatoare electromagnetice cu traductor rezistiv, în locul aparatelor indicatoare cu termobimetal cu traductor termovibrator. Aceste studii au fost efectuate pe baza documentației primite în cadrul unei licențe a firmei Jaeger — Franța, a materialului documentar din literatura de specialitate și a cercetărilor proprii.

Încercările în exploatare au demonstrat avantajele noilor sisteme de măsură și control.

Concluzii

Din cele expuse rezultă că industria constructoare de echipament electric pentru autovehicule se afirmă ca o realizare a politicii partidului și guvernului de industrializare a țării noastre.

De-a lungul celor 20 de ani de dezvoltare a industriei electrotehnice s-au obținut realizări importante și care se încadrează actualmente în tendințele tehnicei celei mai avansate pe plan mondial din acest domeniu.

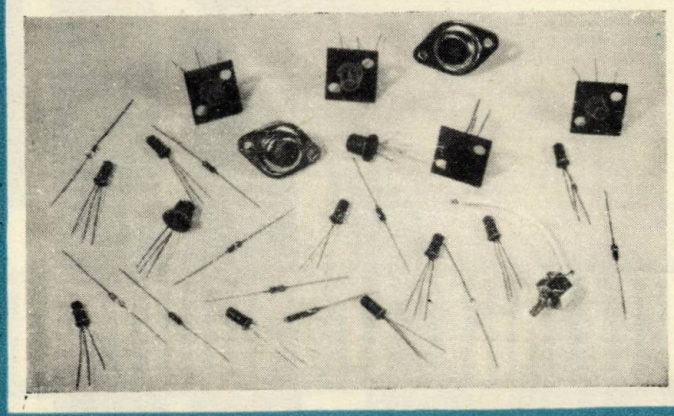
COMITETUL DE REDACȚIE

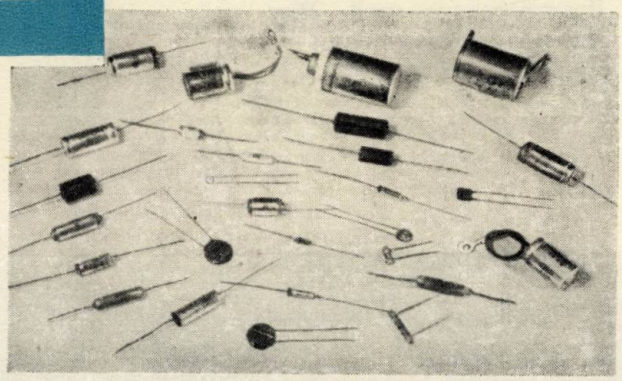
Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; conf. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTIANA POPESCU; ing. VL. POPOVICI; acad. prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ; ing. R. VLĂDOIANU.

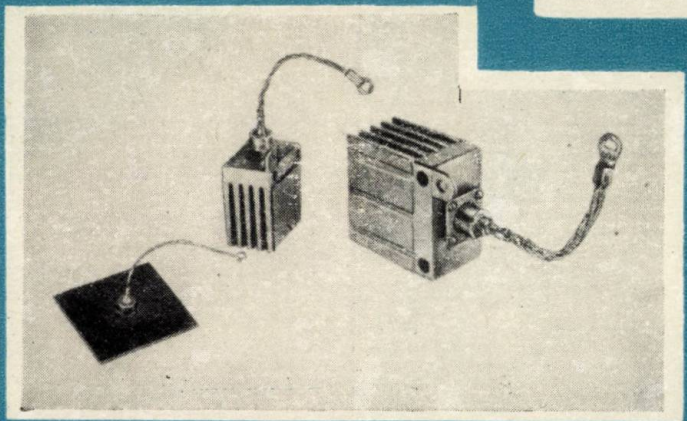
Revista "ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon redactor șef: 14.90.27. Redacția: București, str. Ion Ghica, nr. 3, sector IV; telefon secretar general de redacție: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon: 16.21.70 interior 173. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 40060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 10. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu, nr. 23 — 25, c. 3528. *Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 10/10275/1968*

41 400

IPRS BĂNEASA







INTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae, nr. 32, sector 2
telefon: 33.38.30 — telex 011203

PRODUCE :

PIESE RADIO

- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice
- Condensatoare hîrtie — uz general
- Condensatoare hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate

DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

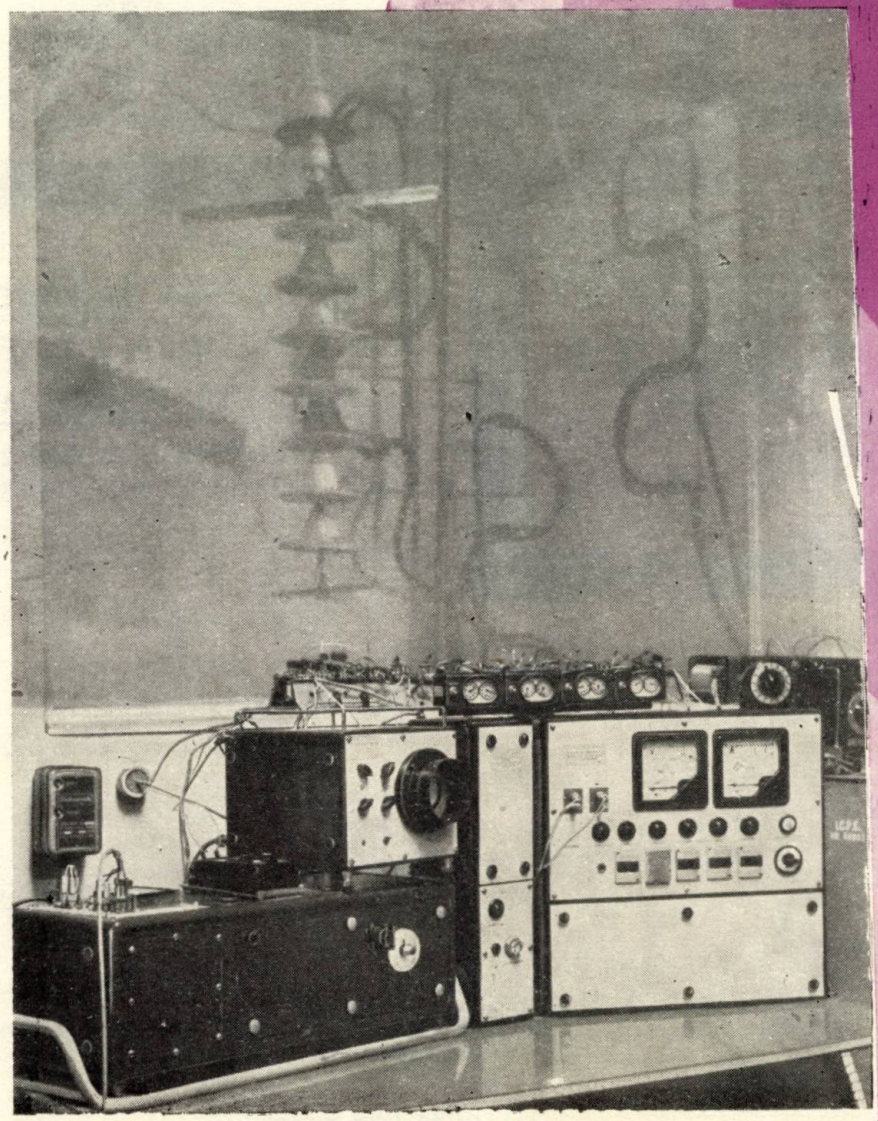
- Transistoare cu germaniu, de joasă frecvenţă
  - — de mică putere
  - — de medie putere
  - — de putere
- Transistoare cu germaniu, de înaltă frecvenţă
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu cu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere
- Diode Zener de mică putere

PENTRU INFORMAŢII SUPLIMENTARE CONSULTAŢI CATALOAGELE NOASTRE

INSTITUTUL DE CERCETARE SI PROIECTARE

Электротехнический Научно-исследовательский и Проектный Институт.

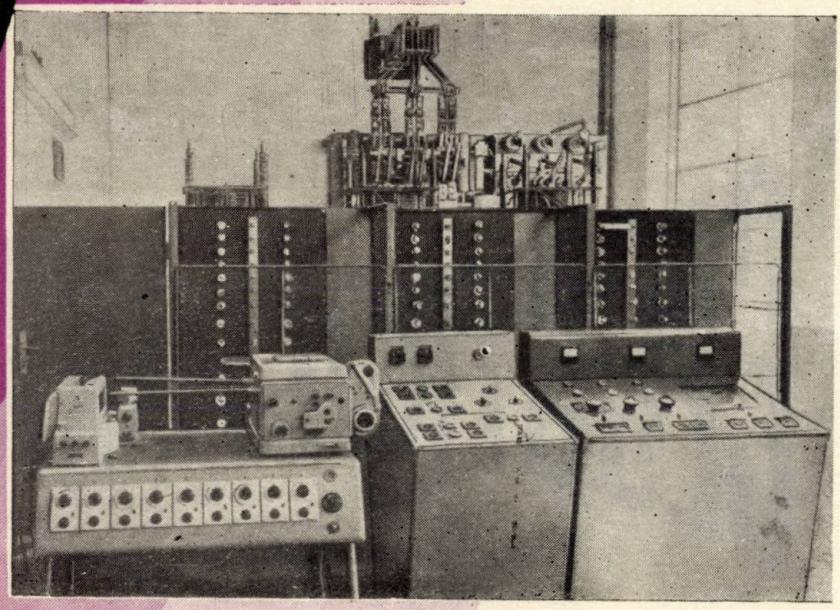
Electrical Engineering and Research Institute



PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Forschungs-und Projectierungs-institut für die Elektroindustrie

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Électrotechnique



Primeşte comenzi de cercetare şi proiectare, cu profil electrotehnic.
Institutul execută studii, încercări, omologări şi prototipuri din domeniul maşinilor şi transformatoarelor electrice, aparatelor de joasă şi înaltă tensiune, acţionărilor electrice, climatizării produselor industriale, calculelor cu maşini electronice, materialelor electrotehnice.

București — Bd. T. Vladimirescu 45—47 — telefon 31.41.00

CONTACTOARE

INTRERUPATOARE AUTOMATE

ELECTROAPARATAJ

BUCUREŞTI

B-dul Marelui Stadion nr. 3
telef. 33.04.00; 33.43.75

APARATAJ DE INSTALAŢII

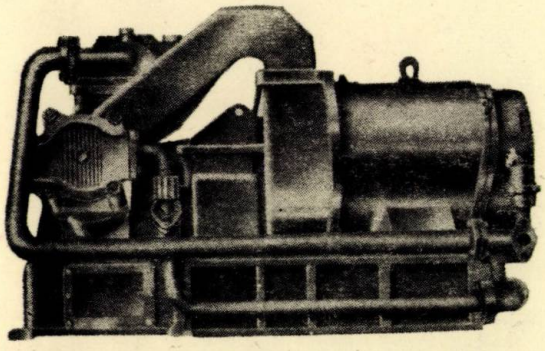
ECHIPAMENTE ELECTRICE

UZINA DE MOTOARE ȘI COMPRESOARE

Timpuri Noi

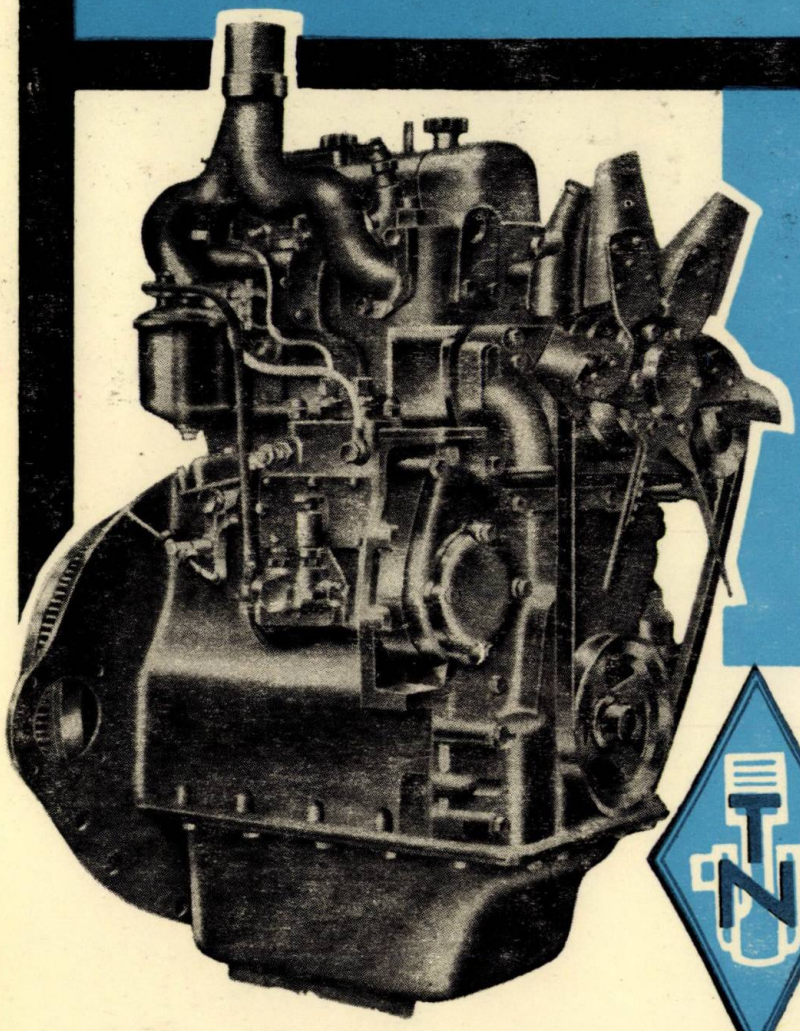
BUCUREȘTI

execută și livrează în țară și străinătate:



Compresoare de aer cu piston, cu debite pînă la 10 m³/min și presiuni de 4—14 kgf/cm² pentru:

- Locomotive
- Troleibuze
- Instalații petroliere
- Șantiere
- Excavatoare
- Garaje
- Automatizări
- Vopsitorii



Motoare diesel cu puteri pînă la 100 CP pentru:

- Utilaje de construcții
- Utilaje pentru agricultură
- Pompe de uz general și speciale
- Generatoare de c.a. și c.c.
- Motoare și motoridicătoare
- Ambarcațiuni
- Utilaje pentru silvicultură

Pentru rezolvarea problemelor dv. privind antrenarea cu motoare diesel industriale și utilizarea compresoarelor de aer cu piston — consultați specialiștii uzinei „Timpuri Noi".

UZINA DE MAȘINI ELECTRICE BUCUREȘTI

UME B

produce o gamă variată de motoare electrice asincrone trifazate

Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit de următoarele tipuri :

- seria A S I – gab. 250 – 280/315;
- seria M S – gab. 3 și 4 ;
- motoare ascensor cu 2 viteze – gab. 200, 225, 250 ;
- seria A E protecție antideflagrantă Ex a II G4 – gab. 90 – 280 ;
- seria A E M protecție antideflagrantă Aa – gab. 132 – 200 ;
- motoare role laminor.

Motoare asincrone cu inele :

- motoare macara M2 și M3 – gab. 3 – 7,9 ;
- motoare AFI – gabarit 250 și 280.

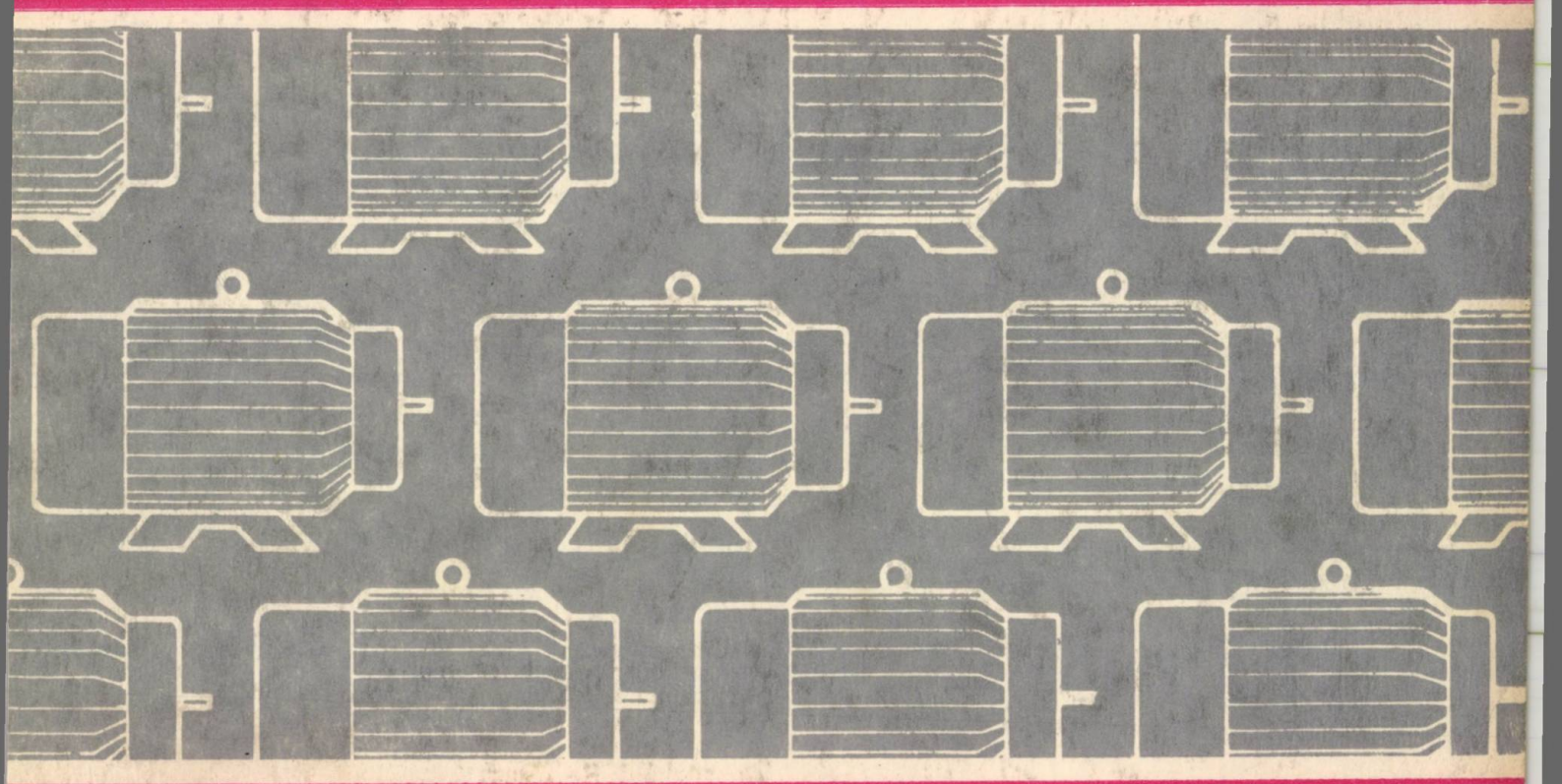
Aceste motoare se produc, la comandă, pentru diverse tensiuni între 220 – 660 V și frecvențe de 50 și 60 Hz în execuție cu protecție climatică TH2, pentru mediu marin și cu protecție mărită la praf în diferite variante constructive și pentru turații între 750 – 3000 rot/min.

E 2040

04

R RETEURALVA

ELECTROTEHNICA



9

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 17 • Nr. 9 • SEPTEMBRIE 1969

IPET

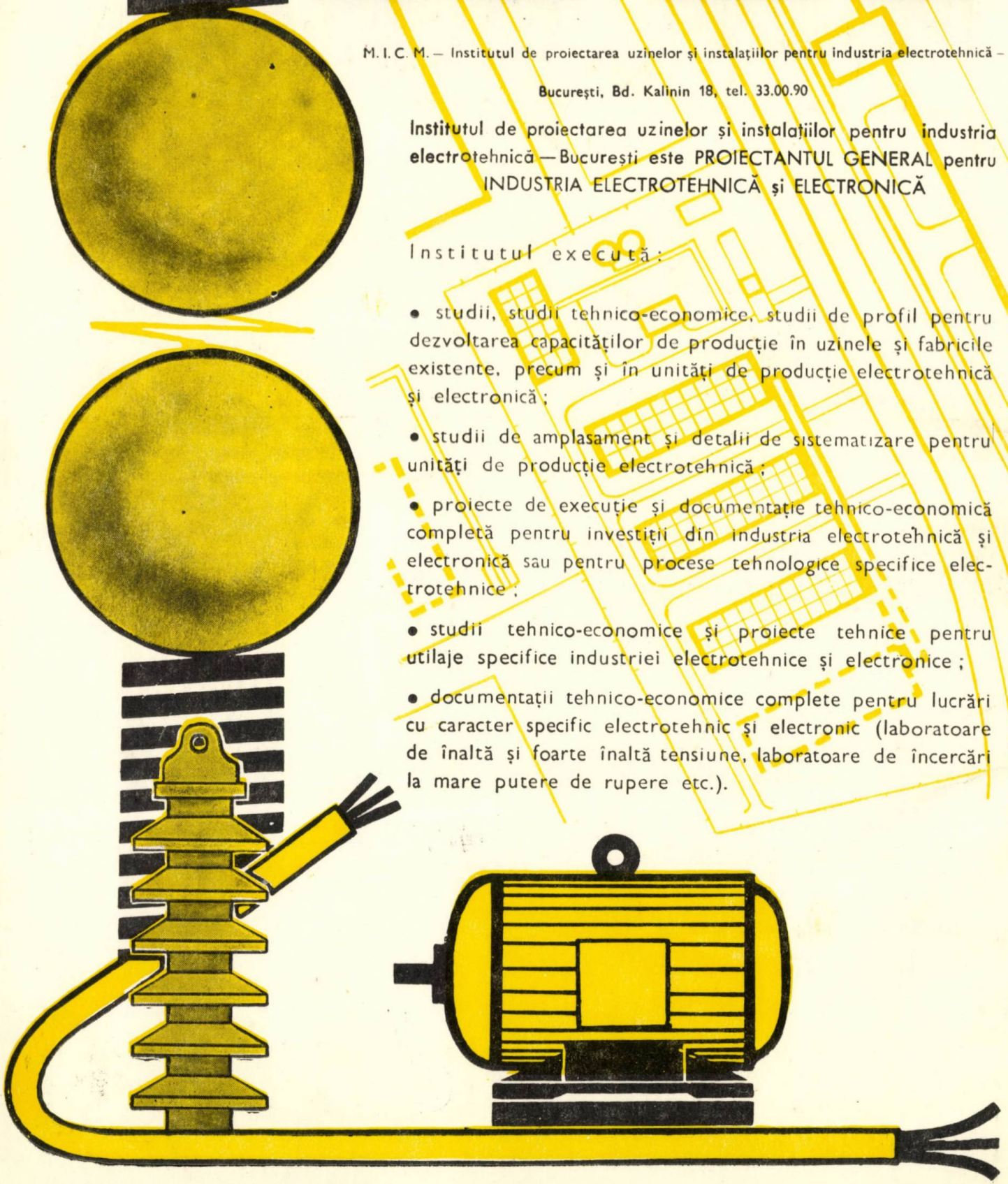
M. I. C. M. — Institutul de proiectarea uzinelor și instalațiilor pentru industria electrotehnică —

București, Bd. Kalinin 18, tel. 33.00.90

Institutul de proiectarea uzinelor și instalațiilor pentru industria electrotehnică — București este PROIECTANTUL GENERAL pentru INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ și ELECTRONICĂ

Institutul execută:

- studii, studii tehnico-economice, studii de profil pentru dezvoltarea capacităților de producție în uzinele și fabricile existente, precum și în unități de producție electrotehnică și electronică;
- studii de amplasament și detalii de sistematizare pentru unități de producție electrotehnică;
- proiecte de execuție și documentație tehnico-economică completă pentru investiții din industria electrotehnică și electronică sau pentru procese tehnologice specifice electrotehnice;
- studii tehnico-economice și proiecte tehnice pentru utilaje specifice industriei electrotehnice și electronice;
- documentații tehnico-economice complete pentru lucrări cu caracter specific electrotehnic și electronic (laboratoare de înaltă și foarte înaltă tensiune, laboratoare de încercări la mare putere de rupere etc.).



E 2040

ELECTROTEHNICA

Anul 17 Nr. 9, 329–368 septembrie 1969

CUPRINS

CZ 621.313.333.018.46.044.61 :621.3.013.5.016.1

Bompa, L. : **Studiul influenței alunecării și numărului perechilor de poli, asupra cîmpului electromagnetic din cuplajul asincron, folosind mașinile cifrice.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 329–339

Lucrarea tratează analiza numerică a influenței celor doi parametri asupra cîmpului electromagnetic, cuplului și unor mărimi auxiliare. Analiza se bazează pe soluția cîmpului obținută în baza ipotezei unui material omogen, izotrop, fără histerezis și cu o permeabilitate constantă determinată în concordanță cu caracteristica de magnetizare și cu regimul de funcționare. Se determină de asemenea valorile extreme ale cuplului și valorile celor doi parametri la care acestea se produc. Lucrarea are importanță în studiul curenților turbionari și al mașinilor ce funcționează pe baza acestora.

CZ 621.314.2.072.2

Natrașevschi, A. și *Avram, C.* : **Transformator pentru varierea continuă a tensiunii sub sarcină.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 340–344

Se prezintă soluțiile folosite în prezent pentru varierea continuă a tensiunii alternative sub sarcină scoțîndu-se în evidență dezavantajele lor. În continuare se descrie un transformator pentru varierea continuă a tensiunii alternative sub sarcină fără comutație, de construcție originală. Transformatorul descris prezintă o serie de avantaje față de soluțiile cunoscute, fapt care rezultă și din încercările experimentale.

CZ 621.3.066.6 :621.3.017.7.011.24

Hortopan, Gh. : **Relații noi privind încălzirea contactelor electrice.**

Electrotehnica **17**, nr.9, sept 1969, p. 344–349

Se prezintă relații de calcul pentru încălzirea contactelor de suprafață în regim permanent, relații bazate pe teoria încălzirii locului îngust. Relațiile sînt verificate experimental pe contacte de suprafață realizate prin suprapunerea conductoarelor de secțiune dreptunghiulară. Este analizat regimul tranzitoriu al încălzirii contactelor, considerînd drept excitație puterea dezvoltată în rezistența contactului electric. În acest mod se găsesc relații de dependență între încălzirea contactului și intensitatea curentului electric. Sînt examinate două cazuri și anume încălzirea la trecerea curentului continuu și încălzirea la trecerea curentului alternativ.

CZ 621.315.017.7.001.24

Pesici, M. : **Aspectul unei posibilități de a determina încălzirea conductoarelor la curenți intenși.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 350–353

În scopul de a determina încălzirea conductoarelor neizolate parcurse de curenți intenși, se arată posibilitatea obținerii acestei valori prin aplicarea unor relații din literatura de specialitate, cu condiția folosirii unor coeficienți de cedare globală de căldură. Se arată rezultatele din deducerea analitică și din datele obținute experimental a unor valori pentru acești coeficienți. Experimentările de control efectuate, confirmă valorile coeficienților de cedare globală a căldurii obținute anterior.

CZ 621.314.632.621.385.3-

Matlac, I. : **Ecuațiile convertoarelor de curent continuu cu tirsitoare cu circuit de comutație oscilant.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 354–357

PENTRU TINĂRUL INGINER

CZ 621.314.63 : 621.57.

Silard, A. : **Contactoare statice de curent continuu cu tiristoare bioperaționale.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 358–361

RECENZII • REFERATE • CRONICĂ • SCURTE ȘTIRI

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU ; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România ; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil ; ing. V. BUNEA ; ing. V. CIOFU ; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU ; ing. ȘT. GROSU ; prof. dr. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct ; conf. ing. G. LAZARIDE ; conf. ing. D. F. LĂZĂROIU ; ing. M. OPASCHI ; ing. A. POPA ; prof. ing. CRISTIANA POPESCU ; ing. VL. POPOVICI ; academician prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon redactor șef : 14.90.27. Redacția : București, str. Mândinești, nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacție : 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon : 16.21.70 interior 173. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 40060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi : lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri : lei 30 anual. Costul unui exemplar : lei 5. Tiparul : Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 3660. *Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 10/10257/1968*

41 400

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.313.333.018.46.044.61 :621.3.013.5.016.1

Бомпа, Л.: **Изучение влияния скольжения числа пар полюсов на электромагнитное поле асинхронного сцепления, применяя цифровые машины.**

Electrotehica **17**, № 9, сент. 1969, стр. 329–339

ДК 621.314.2.072.2.

Натрашевски, А. и *Аврам, К.:* **Трансформатор для непрерывного изменения напряжения поднагрузкой**

Electrotehica **17**, № 9, сент. 1969, стр. 340–344

ДК 621.3.033 066. 6 : 621.3.017.7.001.24

Хортопан, Г.: **Новые соотношения в связи с нагревом электрических контактов.**

Electrotehica **17**, № 9, сент. 1969, стр. 344–349

ДК 621.315.5.017. 7. 001.24

Песичь, М.: **Возможность определения нагрева проводников при интенсивных токах.**

Electrotehica **17**, № 9, сент. 1969, стр. 350–353

ДК 621.314.632 : 621.385.3

Матлак, И.: **Уравнения конвертеров постоянного тока с тиристорами, с колебательным контуром связи.**

Electrotehica **17**, № 9, сент. 1969, стр. 354–357

ДЛЯ МОЛОДОГО ИНЖЕНЕРА

ДК 621.314.63 : 621.316.57

Силард, А.: **Статические проводники постоянного тока с биоперационными тиристорами.**

Electrotehica **17**, № 9, сент. 1969, стр. 358–361

РЕЦЕНЗИИ • ДОКЛАДЫ
ХРОНИКА • КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

INHALT

CZ 621.313.333.018.46.044.61 : 621.3.013.5.016 1

Bomba, L. : **Der Einfluss des Schlupfes und der Anzahl der Polpaare auf das elektromagnetische Feld in der asynchronen Kupplung bei Verwendung der Rechenmaschinen.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, S. 329–339

CZ 621.314.2.072.2.

Natraşevschi, A. und *Avram, C.* : **Transformator zur Daueränderung der Spannung unter Last.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, S. 340–344

CZ 621.3.066.6 :621 3.017.7.011.24.

Hortopan, Gh : **Neue Beziehungen bzgl. Erwärmung der elektrischen Kontakte**

Electrotehnica **17**, nr. 9 sept 1969, S. 344–349

CZ 621.315.5.017.7.001.24

Pesici, M. : **Der Aspekt einer Möglichkeit zur Bestimmung der Erwärmung von Leitungen bei starken Strömen.**

Electrotehnica **17**, 9, sept 1969, S. 350–353

CZ 621.314.632 :621.385.3

Matlac, I. : **Die Gleichungen der Gleichstromwandler mi Thyristoren und oszillierendem Kommutierungskreis.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, S. 354–357

FÜR DEN JUNGEN INGENIEUR

CZ 621.314.63 :621. 316.57

Silard, A. : **Statische Kontaktgebern für Gleichstrom mit bioperationellen Thyristoren.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, S. 357–361

BUCHBESPRECHUNGEN • REFERATE
CHRONIK • KURZNACHRICHTEN

MŰSZAKI KÖNYVTÁR

SOMMAIRE

CD 621.313.333.018. 46. 044.61 : 621.3.013.5.016.1

Bompa, L. : **L'étude de l'influence du glissement et du nombre de paires de pôles sur le champ électromagnétique du couplage asynchrone, en utilisant les machines à chiffres.**

Electrotehnica **17**, no. 9. sept 1969, p. 329–339

L'ouvrage traite l'analyse numérique de l'influence des deux paramètres sur le champ électromagnétique, sur le couple et sur certaines valeurs auxiliaires. L'analyse est basée sur la solution du champ obtenue dans l'hypothèse d'un matériel homogène, isotrope, sans hysterésis et ayant une perméabilité constante déterminée en concordance avec la caractéristique de magnétisation et avec le régime de fonctionnement. On détermine aussi les valeurs extrèmes du couple et les valeurs des deux paramètres auxquels se produisent ces valeurs. L'ouvrage présente de l'importance pour l'étude des courants tourbionnaires et des machines fonctionnant à base de ces courants.

CD 621. 314. 2. 072. 1

Natrașevschi, A. et *Avram, C.* : **Transformateur pour la variation continue de la tension sous charge.**

Electrotehnica **17**, no. 9, sept. 1969, p. 340–344

On présente les solutions utilisées actuellement pour varier continuellement la tension alternative sous charge, mettant en évidence leurs désavantages. On décrit ensuite un transformateur pour la variation continue de la tension alternative sous charge sans commutation, de construction originale. Le transformateur décrit présente une série d'avantages, comparé aux solutions connues, fait prouvé aussi au cours des essais expérimentaux.

CD 621.3.066.6 : 621.3.017.7.001.24

Hortopan, Gh. : **Nouvelles relations concernant l'échauffement des contacts électriques.**

Electrotehnica **17**, no. 9, sept. 1969, p. 344–349

On présente des relations de calcul de l'échauffement des contacts de surface, en régime permanent, relations basées sur la théorie de l'échauffement d'un espace étroit. Les relations sont vérifiées expérimentalement sur des contacts de surface, réalisés en superposant des contacts à section rectangulaire. On analyse le régime transitoire de l'échauffement des contacts en considérant comme excitation la puissance développée dans la résistance du contact électrique. On trouve ainsi des rapports de dépendance entre l'échauffement du contact et l'intensité du courant électrique. On examine deux cas, et notamment l'échauffement au passage du courant continu et l'échauffement au passage du courant alternatif.

CD 621.315.5.017.001.24

Pesici, M. : **L'aspect d'une possibilité de détermination de l'échauffement des conducteurs lors des courants intenses.**

Electrotehnica **17**, no. 9, sept. 1969, p. 350–353

Pour déterminer l'échauffement des conducteurs non-isolés traversés par des courants intenses, on montre la possibilité d'obtenir les valeurs respectives en appliquant certaines relations indiquées dans la littérature de spécialité, à condition d'utiliser des coefficients de transfert global de la chaleur. On présente les résultats obtenus par déduction analytique et par les données obtenues expérimentalement de certaines valeurs de ces coefficients. Les expériences exécutées en vue du contrôle confirment les valeurs de ces coefficients de transfer de la chaleur globale, obtenus antérieurement.

CD 621.314.632 : 621.385.3

Matlac, I. : **Les équations des converteurs de courant continu thyristors à circuit de commutation oscillant.**

Electrotehnica **17**, no. 9, sept. 1969, p. 354–357

RUBRIQUE DU JEUNE INGÉNIEUR

CD 621.314.63 : 621.316.57

Silard, A. : **Contacteurs statiques de courant continu à thyristors biopérationnels.**

Electrotehnica **17**, no. 9, sept. 1969, p. 358–361

COMPTES-RENDUS • REFERATS
CHRONIQUE • BREVES COMMUNICATIONS

CONTENTS

D. C. 621.313.333.018.46.044. 61 : 621.3.013.5.016.1

Bompa, L. : **Studying the influence of slip and number of pole pairs on the electromagnetic field of the asynchronous coupling by means of digital machines.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 329–339

The paper discusses the numerical analysis of the influence of the two parameters on the electromagnetic field, the moment and some auxiliary magnitudes. The analysis is bassed on the field solution obtained, on the basis of the hypothesis of an homogenous, isotropic material without histeresis and with constant permeability determined in concordance with the magnetization characteristic and the working regime. The extreme values of the couple and the values of the two parameters at which these occur are determined. The paper is important for the study of whirling currents and of machines working on their basis.

D. C. 621.314. 2. 072. 2

Natrașevschi, A. and *Avram, C.* : **A transformer for the continuous variation of voltage under load ,.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 340–344

The solutions presently used for the continuous variation of alternating voltage under load are analysed and their disadvantages, pointed out. A transformer of an original construction for the continuous variation of the alternating voltage under load, without commutation is then described.

The transformer described presents a series of advantages as compared to the known solutions, a fact which also results from the experiments carried out.

D. C. 621.3.066.6 : 621.3.017.7.001.24

Hortopan, Gh. : **New relations concerning the heating of electric contacts**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 344–349

Some calculus relations are given for the heating of surface contact in permanent regime. The relations which are based on the theory of narrow place heating are experimentally checked on surface contacts achieved by superposition of rectangular — section conductors. The tranzitory regime of contact heating is analysed, the power developed in the resistance of the electric contact being considered as excitation. Dependence relations between contact heating and electric current intensity are this found. Two cases are examined, namely the heating at the passage of the continuous current and the heating at the passage of the alternating current.

D. C. 621.315.5.017.7.01.24

Pesici, M. : **The possibility of determining the heating of conductors to intense currents.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 350–353

In order to determine the heating of non — insulated conductors traversed by intense currents, the possibility is shown of obtaining this value by applying some relations from the relevant literature, with the condition of know global heat coefficients. The results obtained by analytical deduction and from the experimentally obtained data for these coefficients are shown. The control experiments carried out confirm the values of the global heat coefficients obtained previously

D. C. 621. 314. 632 : 621.385.3

Matlac, I. : **The equations of thyristorised continuous — current converters with oscillating commutation circuit.**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 354–357

THE YOUNG ENGINEER'S GUIDE

D. C. 621.314.63 : 621.316.57

Silard, A. : **Bioperational thyristorised continuous-curren statie contactors**

Electrotehnica **17**, nr. 9, sept 1969, p. 358–361

REVIEWS • REPORTS • CHRONICLE • BRIEF-NEWS

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 Nr. 9 București, septembrie 1969

Studiul influenței alunecării și numărului perechilor de poli, asupra cîmpului electromagnetic din cuplajul asincron, folosind mașinile electrice

LUCIAN BOMPA* — Brașov

CZ 621.313.333.018.46.044.61 : 621.3.013.5.016.1

Studiul teoriei mașinilor funcționînd prin curenți turbionari în medii feromagnetice n-a ajuns în etapa unei rezolvări generale și complete. Deși acest studiu a fost abordat încă de la începutul secolului nostru, dificultățile inerente impuse de problemele de cîmp în medii neliniare, explică limitarea majorității lucrărilor la ipoteza permeabilității constante în integrarea ecuațiilor [1] — [5].

În prezent, dezvoltarea considerabilă a mașinilor de calcul, permite determinarea numerică a cîmpului în condiții mult mai generale. Studiul analitic făcut chiar cu ipoteze mult simplificatoare, rămîne însă de actualitate, deoarece față de soluțiile numerice obținute la integrarea ecuațiilor cu diferențe finite, permite prezentarea unor soluții explicite cu care se poate urmări influența diverșilor parametri asupra cîmpului și a forțelor de interacțiune.

Lucrarea de față face parte dintr-un studiu mai amplu, în care se urmărește în mod sistematic influența parametrilor principali ce apar în fenomenele din cuplajul asincron. Studiul se bazează pe analiza numerică efectuată cu ajutorul mașinilor cifrice, a soluției cîmpului, forțelor de interacțiune și unor mărimi auxiliare, obținute în urma integrării ecuațiilor cîmpului, în ipoteza unui material omogen, izotrop, fără histerezis și cu o permeabilitate determinată în concordanță cu caracteristica de magnetizare și cu regimul de funcționare. Studiul are importanță în analiza curenților turbionari din mediile feromagnetice mobile și în proiectarea mașinilor ce funcționează pe baza acestora.

1. Soluția cîmpului electromagnetic din indusul mașinii

Se consideră cuplajul din figura 1 pentru care se fac următoarele ipoteze:

— permeabilitatea magnetică este considerată constantă. Valoarea sa se determină în prealabil printr-o metodă descrisă în [8] și corespunde amplitudinii inducției de la suprafața indusului în concordanță cu caracteristica de magnetizare și regimul de funcționare. Materialul este considerat omogen și izotrop;

— întrefierul este considerat uniform;

— se neglijează curbura indusului;

— inductorul se consideră că are permeabilitatea infinită;

— indusul se consideră de grosime nelimitată;

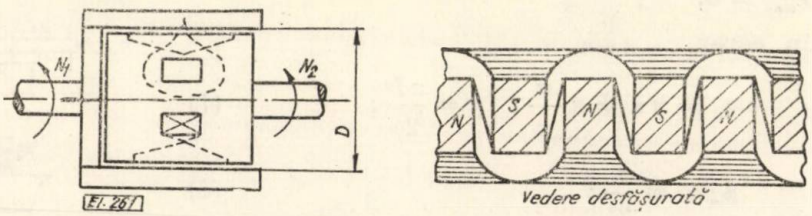


Fig. 1. Cuplaj cu dinții intercalați.

— repartiția inducției la suprafața indusului în regim staționar, se detrmină în [7] cu ajutorul funcțiilor analitice. Din acest studiu rezultă pentru intensitatea cîmpului:

$$H_z = \frac{iw}{\delta}\sqrt{\frac{u+1}{u-1}} \quad \text{pentru} \quad u \leqslant -1 \qquad (1)$$

* Ing. *L. Bompa* este șef de lucrări la Catedra de electrotehnică din Institutul politehnic — Brașov.

în care :

iw este numărul de amperspire al inductorului ; δ — întrefierul, iar variabila „*u*" depinde în mod exponențial de x, δ, de pasul polar τ și lățimea polului $2a$ (fig.2) :

$$u = 0{,}5 \cdot e^{\frac{\pi(2x+2a-\tau)}{\delta(\tau-2a)}}. \quad (2)$$

Repartiția inducției din figura 2 admisă în calculul cîmpului, rezultă din rectificarea curbei obținută cu (1).

Condițiile de frontieră sînt:

$$z = 0, \quad J_z = 0; \quad y = \pm l, \quad J_y = 0;$$
$$z = \infty, \quad \overline{J} = 0, \quad \overline{B} = 0 \quad (3)$$

$$\oint_{\Gamma} \overline{H} d\overline{l} = \int_{sr} \overline{J} d\overline{s}. \quad (4)$$

Dacă folosim metoda separării variabilelor, se obține următoarea soluție pentru armonicile cîmpului [6] :

$$B_{nmx} = -\frac{\alpha_n \gamma_{nm}}{\eta_{nm}^2} \theta_{nm} \cdot B_{0nm} \cos \beta_m y \sin(\omega_n t - \alpha_n x + \psi_{nm} - \varphi_{nm} - \xi_{nm} z)\, e^{-q_{nm} z}; \quad (5)$$

$$B_{nmy} = \frac{\beta_m \gamma_{nm}}{\eta_{nm}^2} \theta_{nm} \cdot B_{0nm} \sin \beta_m y \cos(\omega_n t - \alpha_n x + \psi_{nm} - \varphi_{nm} - \xi_{nm} z)\, e^{-q_{nm} z};$$

$$B_{nmz} = \theta_{nm} \cdot B_{0nm} \cdot \cos \beta_m y \cos(\omega_n t - \alpha_n x - \varphi_{nm} - \xi_{nm} z)\, e^{-q_{nm} z};$$

$$I_{nmx} = \frac{1}{\mu} \frac{\lambda_n^2 \beta_m}{\eta_{nm}^2} \theta_{nm} B_{nm} \sin(\omega_n t - \alpha_n x - \varphi_{nm} - \xi_{nm} z)\, e^{-q_{nm} z};$$

$$I_{nmy} = \frac{1}{\mu} \frac{\lambda_n^2 \alpha_n}{\eta_{nm}^2} \theta_{nm} B_{0nm} \cos \beta_m y \cos(\omega_n t - \alpha_n x - \varphi_{nm} - \xi_{nm} z)\, e^{-q_{nm} z}; \quad (6)$$

$$I_{mnz} = 0,$$

în care :

$$\alpha_n = n\alpha = n\frac{\pi}{\tau}; \quad \tau = \frac{\pi D}{2p}; \quad (7)$$

$$\beta_m = m\frac{\pi}{2l}; \quad (8)$$

$$\omega_n = n\omega = n\frac{2\pi p(N_1 - N_2)}{60} = n\frac{\pi p \Delta N}{30}; \quad (9)$$

N — numărul relativ de rotații pe minut, între indus și inductor (fig. 1);

$$\lambda_n^2 = n\frac{\omega\mu}{\rho}; \quad (10)$$

ρ — rezistivitatea indusului, Ωm.

Condiția de separare a variabilelor se scrie :

$$\gamma_{nm} = \gamma_{nm} \cdot e^{j\psi_{nm}} = \sqrt{\eta_{nm}^2 + j\lambda_n^2} = q_{nm} + j\xi_{nm}; \quad (11)$$

$$\eta_{nm}^2 = \alpha_n^2 + \beta_m^2. \quad (12)$$

Funcția de reacție [6], este :

$$\underline{\theta}_{nm} = \frac{(\delta\mu_r \eta_{nm} + 1)\eta_{nm}}{\delta\mu_r \eta_{nm}^2 + \underline{\gamma}_{nm}} = \theta_{nm} \cdot e^{-j\varphi_{nm}}; \quad (13)$$

$$\theta_{nm} = \frac{(\delta\mu_r \eta_{nm} + 1)\eta_{nm}}{\sqrt{(q_{nm} + \delta\mu_r \eta_{nm}^2)^2 + \xi_{nm}^2}}; \quad (14)$$

$$\varphi_{nm} = \operatorname{arc\,tg} \frac{\xi_{nm}}{\delta\mu_r \eta_{nm}^2 + q_{nm}}; \quad (15)$$

$$q_{nm} = \sqrt{\frac{\eta_{nm}^2 + \sqrt{\eta_{nm}^4 + \lambda_n^4}}{2}}; \quad (16)$$

$$\xi_{nm} = \sqrt{\frac{-\eta_{nm}^2 + \sqrt{\eta_{nm}^4 + \lambda_n^4}}{2}}; \quad (17)$$

$$\psi_{nm} = \frac{1}{2} \operatorname{arc\,tg} \frac{\lambda_n^2}{\eta_{nm}^2}. \quad (18)$$

Armonicile inducției de excitație sînt :

$$B_{0nm} = \frac{4B_{0n}}{m\pi} \sin m\pi \frac{b}{2l} \quad n, m = 1, 3, 5, \ldots \infty; \quad (19)$$

$$B_{0n} = \frac{4B_0}{\pi\alpha n^2} \left\{ \frac{1}{c_3} \left[1 + \frac{0{,}8}{c_3} \left(c_1 - \frac{\tau}{2} \right) \right] \cdot \cos n\frac{\pi}{\tau} \left(\frac{\tau}{2} - c_3 \right) + \frac{0{,}8}{c_2} \cos n\frac{\pi}{\tau} c_1 \right. \quad (20)$$

$$c_1 = 0{,}95\, a, \quad c_2 = 0{,}1\,\tau - 0{,}15\, a,$$
$$c_3 = 0{,}8\left(\frac{\tau}{2} - a\right)$$

Notațiile corespund cu cele din figura 2.

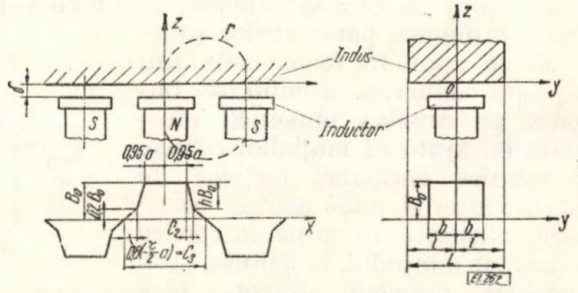


Fig. 2. Repartiția inducției de excitație în întrefier.

Cuplul mecanic mediu este :

$$M_{nm} = pDF_{xnm} = pD \int_{x=0}^{\tau} \int_{y=0}^{l} \int_{z=0}^{\infty} B_{nmz} \cdot J_{nmy}^* \cdot dx \cdot dy \cdot dz. \quad (21)$$

Efectuînd calculele, se obţine:

$$M_{nm} = \frac{l\tau pD}{4\mu_0} \cdot \frac{\alpha_n \lambda_n^2}{\mu_r q_{nm}^2 \eta_{nm}^2} \cdot \theta_{nm}^2 B_{0nm}^2 =$$

$$= K \cdot \sigma_{nm} \cdot u_{nm} \cdot \theta_{nm}^2 B_{0nm}^2, \text{ Nm}; \quad (22)$$

$$K = \frac{\pi LDp\delta}{4\mu_0}, \quad (23)$$

constantă ce depinde de dimensiunile maşinii;

$$\sigma_{nm} = \frac{n\lambda_n}{\sqrt{2} \cdot q_{nm}} \leqslant n. \quad (24)$$

Cîmpul şi cuplul rezultant sînt:

$$\bar{B} = \sum_{n,m=1,3,5\ldots} (\bar{i}B_{xnm} + \bar{j}B_{ynm} + \bar{k}B_{znm}), \text{ T}; \quad (25)$$

$$\bar{J} = \sum_{n,m=1,3,5\ldots} (\bar{i}J_{xnm} + \bar{j}J_{ynm}), \text{ A/m}^2; \quad (26)$$

$$M = \sum_{n,m=1,3,5\ldots} M_{nm}, \text{ Nm}. \quad (27)$$

Analizînd soluţia de mai sus, se poate remarca:

— amplitudinea cîmpului electromagnetic depinde direct de funcţia de reacţie θ şi mărimea λ;

— defazajul cîmpului faţă de regimul staţionar depinde de argumentul funcţiei de reacţie şi se modifică cu adîncimea prin mărimea ξ;

— armonicile cîmpului se atenuează exponenţial cu adîncimea z. Aprecierea atenuării se poate face cu o nouă mărime numită adîncimea de pătrundere

$$\Delta_{nm} = \frac{1}{q_{nm}}, \text{ m}; \quad (28)$$

— în ansamblu, cîmpul din indus, reprezintă unde care se propagă cu viteza corespunzătoare numărului de ture ΔN.

Prin urmare, noi putem analiza componentele la un moment dat (spre exemplu la $t = 0$) iar la momentul următor (Δt), regăsim aceleaşi valori dar la coordonatele:

$$x + v\,t;\ y;\ z,$$

în care v este viteza de propagare a undei.

2. Schema logică de calcul

Algortimul de calcul corespunde soluţiei prezentată în paragraful precedent. Cu acest algoritm se determină următoarele:

— permeabilitatea magnetică de la suprafaţa indusului;

— amplitudinile cîmpului, relaţiile (5) şi (6);

— cuplul mecanic;

— mărimile auxiliare φ_{nm}, ψ_{nm}, ξ_{nm}, θ_{nm} şi θ_{nn};

— distribuţia cîmpului, relaţiile, (25) şi (26);

— eroarea introdusă prin calculul cîmpului cu relaţii simplificate obţinute în paragraful următor pentru alunecări superioare lui $s = 10\,\%$.

Influenţa alunecării şi numărului perechilor de poli se va analiza prin menţinerea constantă a celorlaltor parametri care vor lua valorile de bază fixate în prealabil. Dînd difertite valori parametrului studiat se detrmină fiecare mărime menţionată mai sus şi se vor trage concluziile corespunzătoare.

În figura 3 se reprezintă schema logică de calcul pentru analiza influenţei a opt parametri ce intervin în soluţia cîmpului. Analiza influenţei alunecării şi numărului perechilor de poli corespunde variabilei $k = 30$ şi $k = 50$ (octal). Schema cuprinde conexiunile între diverse subprograme numerotate cu SP_1,

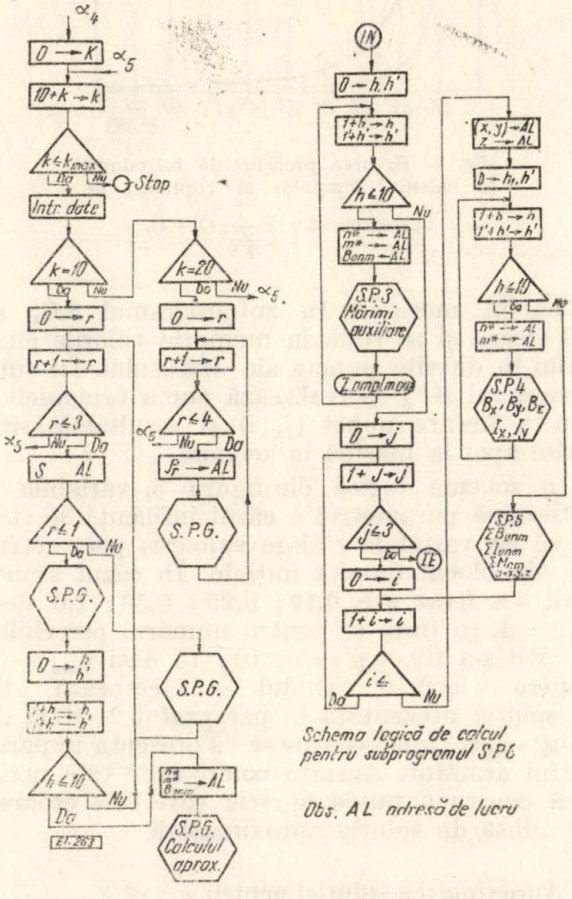


Fig. 3. Schema logică de calcul pentru analiza influenţei la diverşi parametri.

SP_2 etc. şi subprogramul general SPG. Acesta este prezentat în figura 4 şi cuprinde etapele de calcul cu caracter ciclic prin operatorii de transfer condiţionat. Variabilele ciclice n, m, h, i şi j sînt limitate de valori maxime şi corespund armonicilor selecţionate (8 armonici deci $h_{max} = 10$) precum şi punctelor fixate în prea-

labil pentru care se calculează valorile cîmpului (variabilele i şi j). Subprogramul SPG cuprinde subprogramele SP_3, SP_4 şi SP_5. În subprogramul SP_3 se calculează permeabilitatea, mărimile auxiliare, (α_n, β_m, λ_n, η_{nm}, γ_{nm}, q_{nm}, ξ_{nm}, θ_{nm}, φ_{nm}, ψ_{nm}), amplitudinile cîmpului

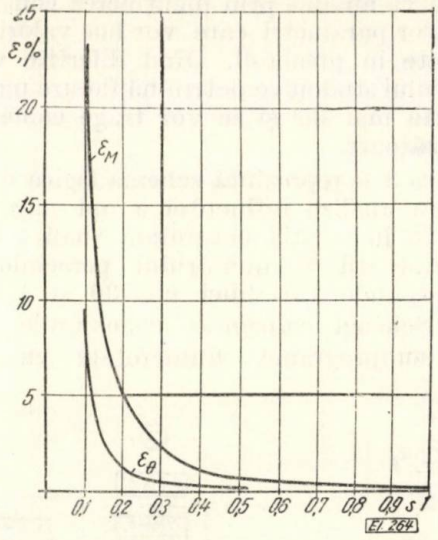


Fig. 4. Eroarea procentuală introdusă, în calculul cîmpului şi cuplului, de aproximarea $\gamma = \frac{\lambda}{\sqrt{2}}(1+j)$.

şi cuplul mecanic. În subprogramul SP_4 se calculează şi se reţin în memorie valorile cîmpului în diferite puncte ale indusului. În subprogramul SP_5 se realizează suma armonicilor pentru fiecare punct (j, i) şi rezultatele sînt scrise apoi la maşină în zecimal.

În schema logică din figura 3, variabila k determină parametrul a cărui influenţă se studiază iar variabila r alege valoarea parametrului din blocul datelor iniţiale. În cazul alunecării s-a fixat $s = 0{,}10$; $0{,}25$; $0{,}50$; $1{,}0$ deci $r_{max} = 4$, în timp ce pentru numărul perechilor de poli s-a fixat $p = 5$; 10 ; 15 deci $r_{max} = 3$. Pentru $s = 0{,}10$ calculul se efectuează atît cu soluţia prezentată în paragraful 2 cît şi cu soluţia aproximativă care se va prezenta în paragraful următor. Această comparaţie este necesară pentru a putea aprecia care este eroarea introdusă de soluţia aproximativă.

3. Aproximarea soluţiei pentru $\eta_{nm} \ll \lambda_n$

La alunecări ridicate ale căror valori sînt determinate de condiţia:

$$\eta_{nm} \ll \lambda_n \tag{28}$$

se poate introduce o simplificare în soluţia cîmpului din paragraful 2. Astfel:

$$\gamma_{nm} \cong \frac{\lambda_n}{\sqrt{2}}(1+j), \tag{29}$$

iar cu notaţiile:

$$u_{nm} = \frac{\lambda_n}{\sqrt{2}.\,\mu_r\,\delta\eta_{nm}^2}; \tag{30}$$

$$\varepsilon_{nm} = \frac{1}{\delta\mu_r\,\eta_{nm}} + 1 \tag{31}$$

se obţine:

$$Q_{nm} = \frac{\varepsilon_{nm}}{\sqrt{1 + 2u_{nm} + 2u_{nm}^2}}; \tag{32}$$

$$\varphi_{nm} = \operatorname{arc\,tg} \frac{u_{nm}}{1 + u_{nm}}; \tag{33}$$

$$\xi_{nm} = \frac{\lambda_n}{\sqrt{2}}; \tag{34}$$

$$M_{nm} = K.n.u_{nm}\theta_{nm}^2 B_{onm}^2,\ \mathrm{Nm}, \tag{35}$$

în care K corespunde cu (23).

Valorile obţinute cu aproximaţiile precedente se înlocuiesc în soluţia cîmpului prezentată la punctul 1.

Pentru aprecierea erorii introduse de soluţia aproximativă, în tabela 1 se prezintă rezultatele calculului obţinute cu cele două soluţii. Calculul s-a efectuat pentru valorile de bază. Examinînd aceste valori se constată următoarele:

— pentru alunecări superioare lui 10%, eroarea în calculul cîmpului este inferioară lui 9%, iar pentru calculul cuplului 20%;

Tabela 1

Ordinul armonicii	Mărimea considerată	Valoarea obţinută cu		Eroarea, %
		soluţia exactă	soluţia aproximativă	
1.1	$B_{x11\,max}$, T	1,761	1,924	9,3
	$B_{y11\,max}$, T	0,807	0,881	9,2
	$B_{z11\,max}$, T	0,546	0,597	9,3
	$J_{x11\,max}$, A/mm²	1,184	1,296	9,4
	$J_{y11\,max}$, A/mm²	2,586	2,830	9,4
	M_{11}, Nm	10,200	12,60	24,0
	φ_{11}, °	14,79	15,53	5,0
	ψ_{11}, °	42,72	42,72	0,0
	ξ_{11}, °/mm	10,83	11,27	4,0
	θ_{11}	0,796	0,871	9,4
	Δ_{11}, m.m	4,89	5,08	3,9
1.3	$B_{x11\,max}$, T	− 0,277	− 0,268	− 3,0
	$B_{y11\,max}$, T	− 0,381	− 0,369	− 3,5
	$B_{z11\,max}$, T	− 0,204	− 1,993	− 2,5
	$J_{x11\,max}$, A/mm²	− 0,555	− 0,543	− 2,0
	$J_{y11\,max}$	− 0,404	− 0,395	− 2,0
	M_{11}, Nm	0,562	0,593	6,0
	φ_{11}, °	7,10	7,90	11,0
	ψ_{11}, °	39,61	39,60	0,0
	ξ_{11}, °/mm	10,25	11,27	10,0
	θ_{11}	0,927	0,906	− 2,1
	Δ_{11}, m.m	4,62	5,084	−10,0

— eroarea în calculul cîmpului și cuplului scade cu ordinul armonicii;

— erorile corespunzătoare primei armonici sînt pozitive adică valorile obținute cu soluția aproximativă sînt superioare valorilor obținute cu soluția exactă;

— erorile corespunzătoare cuplului sînt mai mari (aproximativ de două ori) ca cele pentru amplitudinile cîmpului;

— erorile corespunzătoare argumentelor (armonica 1.1) sînt inferioare jumătății erorii amplitudinilor cîmpului;

— eroarea corespunzătoare funcției de reacție este aproximativ egală cu aceea pentru amplitudinile cîmpului;

— în figura 4 este reprezentată variația erorii procentuale cu alunecarea atît pentru calculul cîmpului (ε_c) cît și al cuplului (ε_M).

4. Influența alunecării

Analiza influenței fiecărui parametru se va face prin modificarea valorilor acestuia menținîndu-i pe ceilalți constanți și egali cu parametrii de bază. Aceștia corespund unei mașini existente și au valorile următoare:

— inducția de excitație $B_o = 0{,}50$ T;
— alunecarea $s = 0{,}50$;
— numărul de ture sincrone $N_1 = 1500$ t/m;
— rezistivitatea electrică (100°C) $\rho = 3{,}84 \cdot 10^{-7}$ Ωm;
— numărul perechilor de poli $p = 10$;
— diametrul interior al indusului $D = 280$ m.m;
— întrefierul $\delta = 0{,}55$ m.m;
— lungimea indusului $L = 2\ l = 96$ m.m.;
— lungimea inductorului $2\ b = 90$ mm;
— lungimea polului inductor $2a = 26$ m.m;
— pasul polar $\tau = 71{,}43$ m^{-1};
— permeabilitatea în regim nesaturat $\mu_{r\ nesat} = 540$.

Valorile considerate pentru alunecarea s sînt: $s = 0{,}10$; 0,25; 0,50 și 1,0, cu care vom urmări influența asupra amplitudinilor cîmpului, mărimilor auxiliare, cuplului mecanic și distribuției cîmpului.

4.1. *Influența alunecării asupra amplitudinilor cîmpului și cuplului mecanic*

Influența alunecării asupra amplitudinilor inducției de excitație este reprezentată în figura 5. Examinînd aceste grafice rezultă următoarele:

— componentele B_{11z} și B_{11y} nu sînt influențate în mod pronunțat pentru alunecări de peste 10% și acest fapt se explică prin saturația magnetică;

— componenta B_{11z} scade la creșterea alunecării ca urmare a creșterii reacției indusului.

În figura 6 este reprezentată influența alunecării asupra amplitudinilor densității de curent. Aceste componente cresc în mod pronunțat cu creșterea alunecării în concordanță cu legea inducției electromagnetice. Creșterea

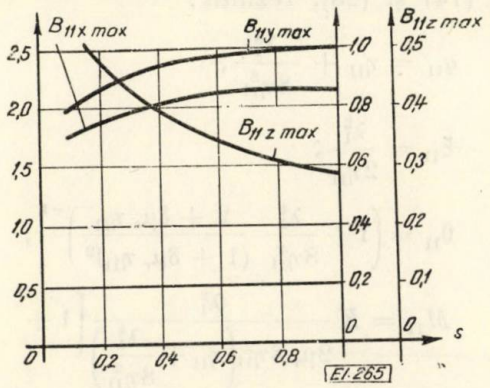


Fig. 5. Influența alunecării asupra componentelor: $B_{11x max}$ $B_{11\ ymax}$, $B_{11\ zmax}$.

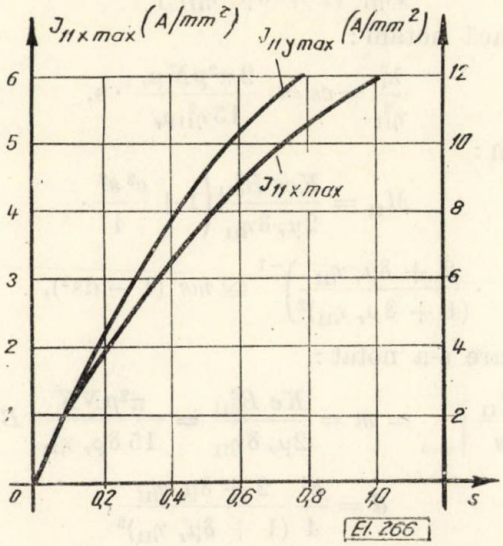


Fig. 6. Influența alunecării asupra componentelor J_{11max}, J_{11ymax}.

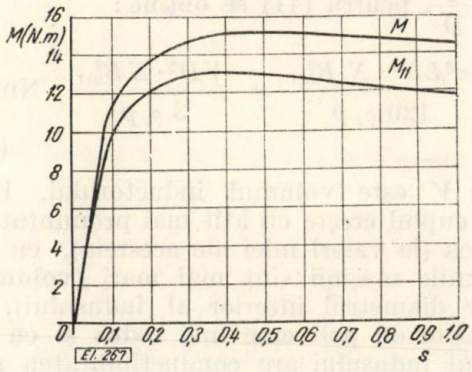


Fig. 7. Caracteristica mecanică pentru $B_0 = 0{,}5$ T.

specifică se reduce pe măsură ce alunecarea crește, ca urmare a scăderii componentei B_{11z}.

Cuplul mecanic este reprezentat în figura 7. Din examinarea graficelor rezultă:

— valorile cuplului prezintă un maxim în jurul căruia variațiile sînt reduse;

— la valori reduse ale alunecării cuplul se poate considera că variază după o parabolă. Efectuînd calculele pentru $\lambda_1 \ll \eta_{11}$, cu (16), (17), (14) şi (28), rezultă:

$$q_{11} = \eta_{11} + \frac{\lambda_1^4}{8\eta_{11}^3}; \tag{36}$$

$$\xi_{11} = \frac{\lambda_1^2}{2\eta_{11}}; \tag{37}$$

$$\theta_{11} = \left(1 + \frac{\lambda_1^4}{8\eta_{11}^4} \frac{2 + \delta\mu_r \eta_{11}}{(1 + \delta\mu_r \eta_{11})^2}\right)^{-1}; \tag{38}$$

$$M_{11} = K \frac{\lambda_1^2}{2\mu_r \delta \eta_{11}^2 \left(\eta_{11} + \frac{\lambda_1^4}{8\eta_{11}^3}\right)} \left[1 + \right.$$

$$\left. + \frac{\lambda_1^4}{4\eta_{11}^4} \frac{2 + \delta\mu_r \eta_{11}}{(1 + \delta\mu_r \eta_{11})^2}\right]^{-1} B_{011}^2.$$

Dacă notăm:

$$\frac{\lambda_1^2}{\eta_{11}^2} = cs = \frac{2\pi^2 p N \mu_r}{15 \eta_{11}^2 \rho_r} \cdot s, \tag{39}$$

avem:

$$M_{11} = \frac{Kcs B_{011}^2}{2\mu_r \delta \eta_{11}} \left(1 + \frac{c^2 s^2}{4} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \frac{2 + \delta\mu_r \eta_{11}}{(1 + \delta\mu_r \eta_{11})^2}\right)^{-1} \cong ms\ (1 - ds^2), \tag{40}$$

în care s-a notat:

$$\left.\frac{dM_{11}}{ds}\right|_{s=0} = m = \frac{Kc B_{011}^2}{2\mu_r \delta \eta_{11}} = \frac{\pi^2 p N K}{15\, \delta \rho_r \eta_{11}^3} B_{011}^2;$$

$$d = \frac{c^2}{4} \frac{2 + \delta\mu_r \eta_{11}}{(1 + \delta\mu_r \eta_{11})^2}. \tag{41}$$

Folosind relaţia (29) şi dacă $\beta_1 \ll \alpha_1$; $\eta_{11} = \alpha_1 = \frac{2p}{D}$, pentru (41) se obţine:

$$m = \frac{\pi^3 L D^4 \cdot N B_{011}^2}{120\, \rho_r p} = \frac{V D^2 \cdot N B_{011}^2}{3\, \rho_r p}, \text{ Nm} \tag{42}$$

în care V este volumul inductorului. Prin urmare, cuplul creşte cu atît mai pronunţat cu alunecarea (la valori mici ale acesteia), cu cît dimensiunile maşinii sînt mai mari (volumul, respectiv diametrul interior al indusului), cu cît numărul de poli este mai redus şi cu cît materialul indusului are conductibilitatea mai ridicată.

Valoarea alunecării pentru care cuplul devine maxim se poate analiza cu relaţia aproximativă (35) cu care pentru prima aromnică se pune condiţia:

$$\frac{\partial M}{\partial s} = \frac{\partial}{\partial s} \frac{K u_{11} \varepsilon_{11}^2 B_{011}^2}{1 + 2u_{11} + 2u_{11}^2} = 0. \tag{43}$$

Făcînd abstracţie de influenţa factorului ε_{11}^2, condiţia (43) revine la extremul funcţiei:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}u_{11}} \left(\frac{u_{11}}{1 + 2u_{11} + 2u_{11}^2}\right) = 0.$$

Efectuînd calculele se obţine:

$u_{11} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ sau, cu (30) şi (10), avem:

$$s_m = \frac{15}{2\pi^2} \cdot \frac{\rho_r \mu_r \delta^2 \eta_{11}^4}{N_p} \tag{44}$$

Dacă $\beta_{11} \ll \alpha_1$ şi folosind (7) obţinem:

$$s_m = \frac{120}{\pi^2} \frac{\rho_r \mu_{rp}{}^3 \delta^2}{N D^4}. \tag{45}$$

Conform cu cele dezvoltate în [8], permeabilitatea rezultă ca soluţie a ecuaţiei $f_1 = f_2$ în care:

$$f_1 = \frac{\lambda_1}{\alpha_1} \theta_1;\ f_2 = \frac{B_{1s}}{B_{01}}.$$

În cazul de faţă, pentru alunecarea (45), funcţia f_1 devine liniară în raport cu μ_r şi deci permeabilitatea va avea valoarea finală dată de prima iteraţie

$$f_1 = p a_1 \left(\mu_r + \frac{1}{\delta \eta_{11}}\right) \tag{46}$$

în care:

$$a_1 = \frac{\delta}{D} \sqrt{\frac{2}{1 + \sqrt{2}}},$$

iar:

$$\mu_r = \frac{(\delta \eta_{11} f_2(0) - a_1 p B_0) \mu_r'}{\delta \eta_{11} (B_0 \mu_r' a_1 p + f_2(0) - f_2(\mu_r'))}. \tag{47}$$

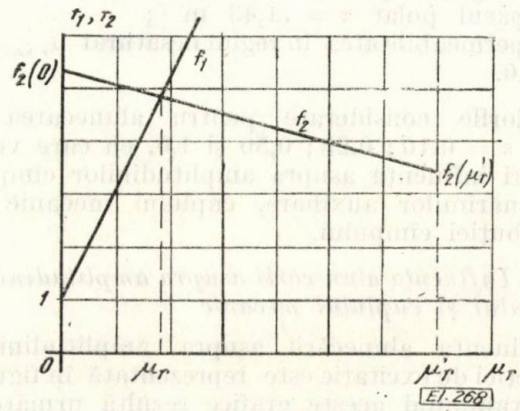


Fig. 8. Explicativa la determinarea permeabilităţii cu relaţia (48).

Dacă $\beta_1 \ll \alpha_1$ putem admite $\eta_{11} = \alpha_1$ şi (47) devine:

$$\mu_r = \frac{f_2(0) - B_0) \mu_r'}{B_0 \mu_r' a_1 p + f_2(0) - f_2(\mu_r')}, \tag{48}$$

în care μ_r' $f_2(0)$ şi $f_2(\mu_r')$ rezultă din figura 8.

În relația de mai sus B_0 se măsoară în unități relative. Înlocuind în (45), se obține:

$$s_m = \frac{120}{\Pi^2} \cdot \frac{\rho_r p^3 \delta^2}{ND^4} \cdot \frac{(f_2(0) - B_0)\,\mu_r'}{B_0 \mu_r' a_1 p + f_2(0) - f_2(\mu_r')} \quad (49)$$

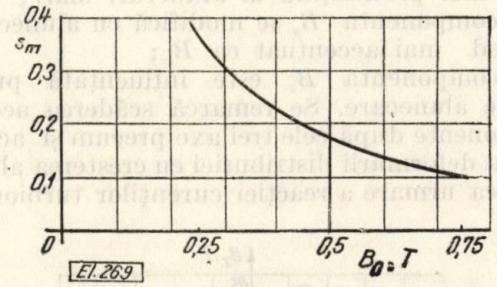


Fig. 9. Influența inducției de excitație asupra alunecării la care cuplul devine maxim.

Înlocuind această valoare în (35), se obține:

$$M_{11m} = \frac{KB_{011}^2}{2(1+\sqrt{2})}\left(1 + \right.$$

$$\left. + \frac{D(B_0 \mu_r a_1 p + f_2(0) - f_2(\mu_r)}{2\delta p (f_2(0) - B_0)\mu_r}\right)^2. \quad (50)$$

Din relațiile obținute se constată:

— alunecarea pentru care cuplul devine maxim scade pronunțat cu diametrul interior al indusului și crește cu numărul perechilor de poli, cu întrefierul și rezistivitatea. Variația în raport cu inducția de excitație este reprezentată în figura 9;

— cuplul maxim depinde aproape liniar de constanta mașinii K și de pătratul inducției de excitație (pentru același raport $\frac{a}{\tau}$). Constanta mașinii crește liniar cu dimensiunile geometrice ale întrefierului (L, D și δ) precum și cu numărul perechilor de poli;

— variația cuplului între alunecarea s_m și $s = 1$ poate fi aproximată printr-o dreaptă determinată de (49), (50), $s = 1$ și relația:

$$M_{11}\Big|_{s=1} = \frac{KB_{011}^2 \varepsilon_{11}^2 \cdot u_{11}}{1 + 2u_{11} + 2u_{11}^2}, \quad (51)$$

în care:

$$u_{11} = \frac{\pi}{\delta \eta_{11}^2}\sqrt{\frac{pN}{15\,\rho_r \mu_r}},$$

care, pentru $\eta_{11} \cong \alpha_1$, rezultă:

$$\mu_{11} = \frac{\pi D^2}{4\delta}\sqrt{\frac{N}{15\,\rho_r \mu_r p^3}},$$ iar μ_r se determină din relația [8]:

$$\mu_r = \frac{\mu_r' c' (f_2(0) - B_0)}{B_0 \mu_r' (f_1(c') - 1) + c'(f_2(0) - f_2(\mu_r'))} \quad (52)$$

în care c' corespunde valorii atribuite permeabilității în prima iterație ($c' = 100$),

$$f_1(c') = \frac{\pi D}{10}\sqrt{\frac{N}{30\rho_r p}} \cdot \frac{\varepsilon_{11}}{\sqrt{1 + 2u_{11} + 2u_{11}^2}},$$

$$\varepsilon_{11} = 1 + \frac{D}{200\,p\delta}$$

iar u_{11} se calculează ca în relația (51) cu înlocuirea lui $\mu_r = 100$. Urmărind caracteristica din figura 7 se poate considera în prima aproximație că între $s = s_m$ și $s = 1$ cuplul poate fi considerat constant.

4.2. *Influența alunecării asupra mărimilor auxiliare și distribuției cîmpului*

În figura 10 este reprezentată variația modulului funcției de reacție și a adîncimii de pătrun-

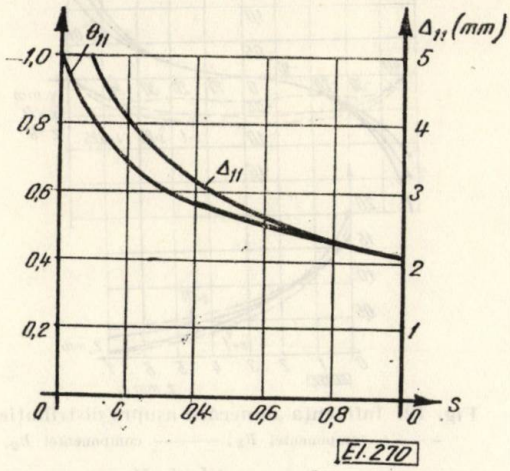


Fig. 10. Influența alunecării asupra modulului funcției de reacție și a adîncimii de pătrundere.

dere cu alunecarea. Se constată scăderea acestora cu alunecarea, fapt explicabil prin reac-

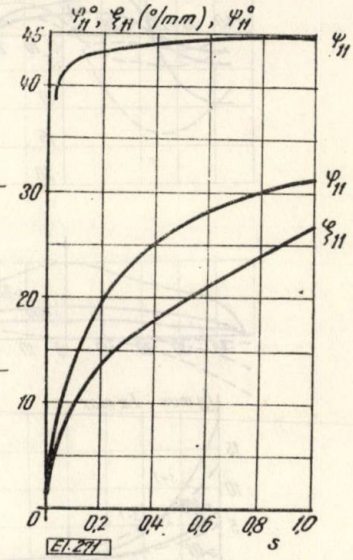


Fig. 11. Influența alunecării asupra argumentelor φ_{11}, ξ_{11}, ψ_{11}.

ția curenților turbionari. În figura 11 este reprezentată influența alunecării asupra argumentelor φ_{11}, ξ_{11}, ψ_{11}, care cresc cu creșterea

alunecării. În timp ce influența asupra argumentului ψ_{11} este neînsemnată, argumentele φ_{11} (unghiul de sarcină la $z=0$) și ξ_{11} se modifică

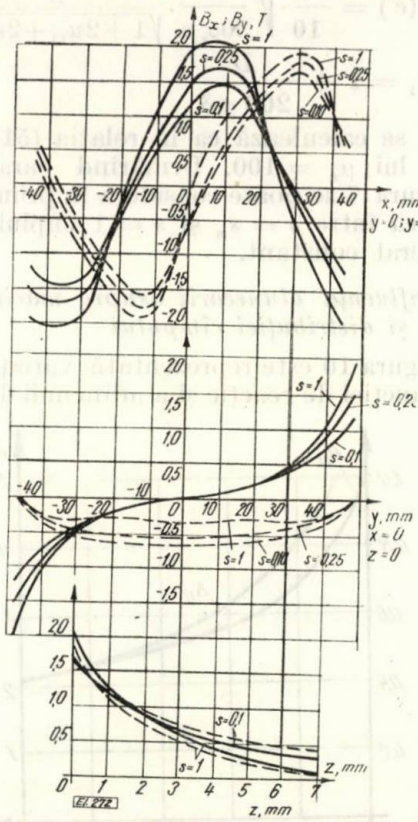


Fig. 12. Influența alunecării asupra distribuției : – – – componentei B_x ; ——— componentei B_y.

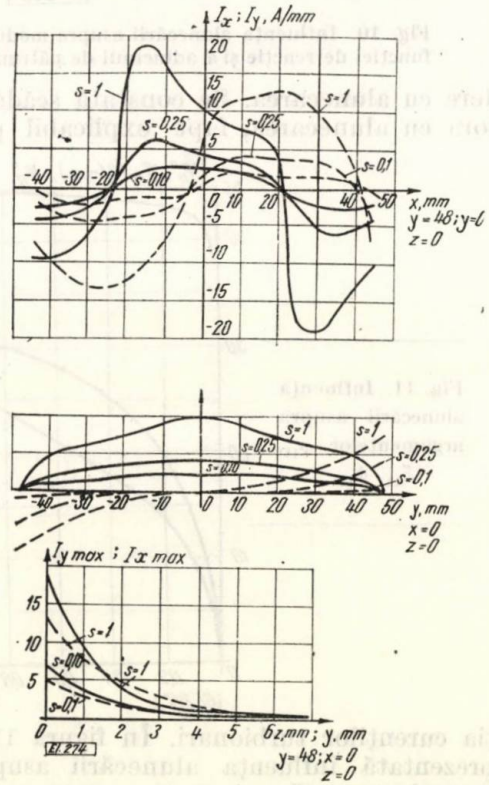


Fig. 13. Influența alunecării asupra distribuției componentei B_z

în mod accentuat. În figurile 12 și 13 este reprezentată distribuția inducției magnetice. Din aceste grafice se constată :

— componenta B_x este influențată în mod neesențial după axa Ox iar după Oz scăderea este mai pronunțată la alunecări mari ;

— componenta B_y se modifică cu alunecarea în mod mai accentuat ca B_x ;

— componenta B_z este influențată puternic de alunecare. Se remarcă scăderea acestei componente după cele trei axe precum și accentuarea deformării distribuției cu creșterea alunecării ca urmare a reacției curenților turbionari.

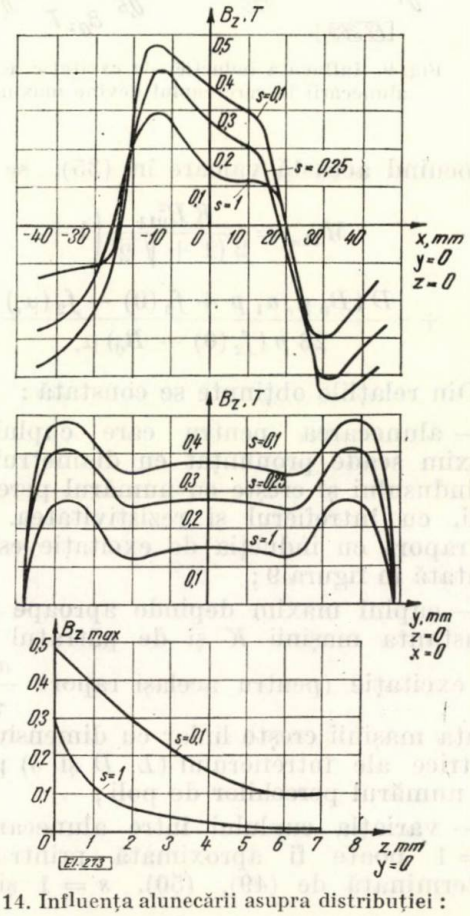


Fig. 14. Influența alunecării asupra distribuției : – – – componentei J_x ; ——— componentei J_y.

În figura 14 sînt reprezentate componentele densității de curent care cresc cu alunecarea. În cazul componentei J_y se remarcă creșterea deformării cu alunecarea, ca urmare a deformării inducției B_z.

5. Influența numărului perechilor de poli

5.1. *Influența asupra amplitudinilor cîmpului, mărimilor auxiliare și cuplului mecanic.*

În figura 15 sînt reprezentate amplitudinile inducției magnetice, din care rezultă :

— amplitudinea B_{11x} crește în defavoarea componentei B_{11y}, fapt explicabil dacă se ține seama

de prelungirea distribuției după axa Oy (fig.2), de faptul că aceste componente cresc odată cu scăderea pasului polar corespunzător dis-

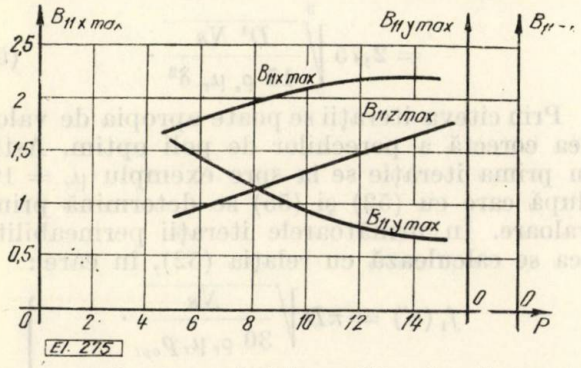


Fig. 15. Influența numărului perechilor de poli asupra componentelor $B_{11x max}$, $B_{11y max}$, și $B_{11z max}$.

tribuției periodice considerate și de raportul între cele două distribuții;

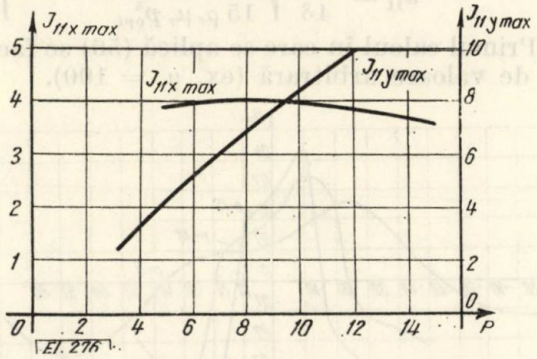


Fig. 16. Influența numărului perechilor de poli asupra componentelor $J_{11x max}$ și $J_{11y max}$.

— componenta $B_{11z max}$ crește cu numărul de poli și aceasta datorită reducerii amperspirelor de reacție pe pol și deci a cîmpului de reacție.

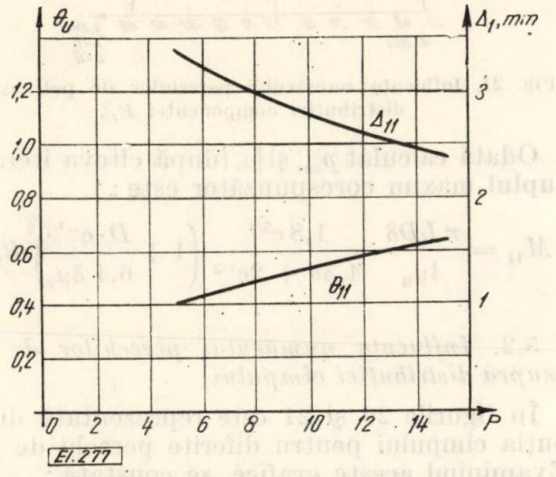


Fig. 17. Influența numărului perechilor de poli asupra modulului B_{11} și adîncimii de pătrundere Δ_{11}.

În figura 16 se reprezintă variația amplitudinilor densității de curent. Se constată tendința de scădere a densității J_{11x} în timp ce J_{11y} crește în concordanță cu variația componentei B_{11y} (fig. 15). În figura 17 este reprezentată variația funcției de reacție și a adîncimii de pătrundere. În timp ce modulul funcției de reacție crește cu numărul de poli, adîncimea de pătrundere scade. Acest efect este o consecință a creșterii variației în timp a distribuției după Ox (deci a creșterii efectului pelicular) pe de-o parte, iar pe de altă parte prin reducerea numărului de amperspire de reacție pe pol (ca urmare a reducerii lățimii polului), deci reducerea reacției . În figura 18 este reprezentată influența numărului perechilor de poli asupra argumentelor ψ_{11}, φ_{11} și ξ_{11}. Variația acestor mărimi este în concordanță cu observațiile precedente. Astfel ca urmare a reducerii reacției se reduce și argumentul φ_{11} în timp ce variația argumentu-

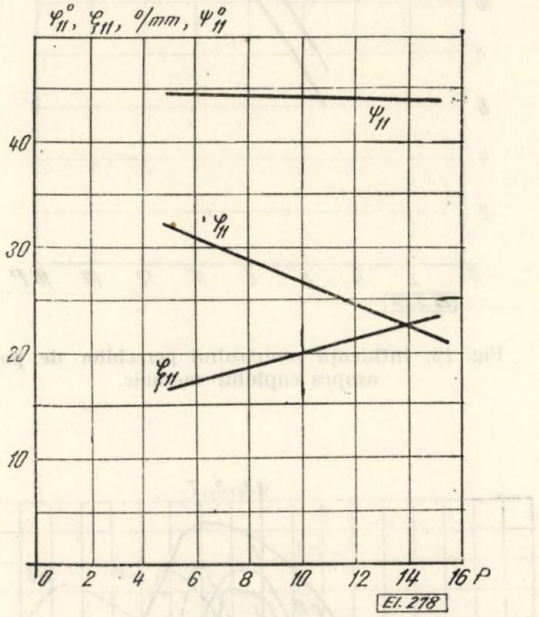


Fig. 18. Influența numărului perechilor de poli asupra argumentelor ψ_{11}, φ_{11} și ξ_{11}.

lui ξ_{11} se explică asemănător ca influența asupra adîncimii de pătrundere. Argumentul ψ_{11} rămîne practic neinfluențat de numărul de poli. În figura 19 este reprezentată variația cuplului cu numărul perechilor de poli. Se constată creșterea aproape liniară (pentru intervalul considerat) cu numărul de poli, ceea ce se explică prin variația constantei K (rel. 23) și variația funcției de reacție θ. Totuși cuplul prezintă un extrem față de numărul de poli. Pentru simplificarea calculelor vom face abstracție de variația permeabilității cu numărul de poli.

Cu relațiile (22) și (28), avem :

$$u_{11} = cp^{-3/2}$$

$$c = \frac{\pi D^2}{4\delta}\sqrt{\frac{Ns}{15\,\rho_r\,\mu_r}}, \qquad (53)$$

în care s-a luat $\eta_{11} \cong \alpha_1$;

$$M_{11} = K_1 \frac{cp^{\frac{5}{2}}}{p^3 + 2cp^{3/2} + 2c^2}, \qquad (54)$$

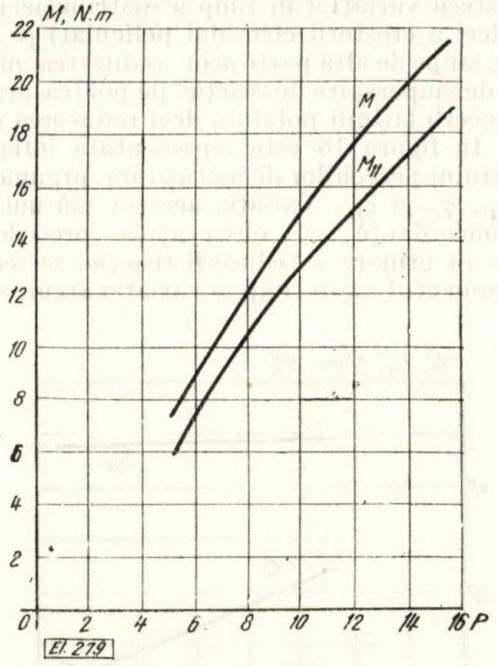


Fig. 19. Influenţa număruliui perechilor de poli asupra cuplului mecanic.

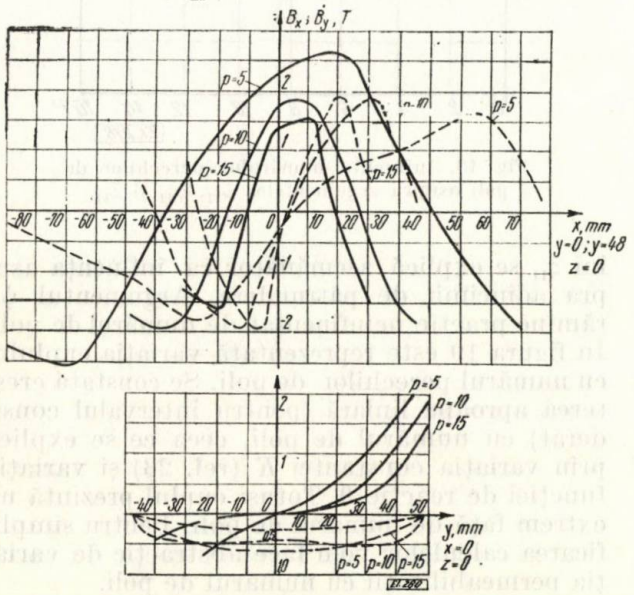


Fig. 20. Influenţa numărului perechilor de poli asupra distribuţiei :

– – – – componentei B_x ; ——— componentei B_y.

în care K_1 este o constantă independentă de numărul de poli şi de permeabilitatea relativă.

Efectuînd calculele, (54) devine maxim pentru :

$$p_{opt} = \sqrt[3]{c^2(18 + 4\sqrt{14})} = 3{,}2\, c^{\frac{2}{3}} = 2{,}75 \sqrt[3]{\frac{D^4 Ns}{15\, \rho_s\, \mu_r\, \delta^2}}. \qquad (55)$$

Prin cîteva iteraţii se poate apropia de valoarea corectă a perechilor de poli optim. Astfel în prima iteraţie se ia spre exemplu $\mu_r = 100$ după care cu (52) şi (55) se determină prima valoare. În următoarele iteraţii permeabilitatea se calculează cu relaţia (52), în care :

$$\left.\begin{aligned} f_1(c') &= \pi D \sqrt{\frac{Ns}{30\, \rho_r\, \mu_r\, p_{opt}}} \cdot \\ &\cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 2u_{11} + 2u_{11}^2}} \left(1 + \frac{D}{2p\delta\, \mu_r}\right); \\ u_{11} &= \frac{\pi D^2}{4\delta} \sqrt{\frac{Ns}{15\, \rho_r\, \mu_r\, p_{opt}^3}}. \end{aligned}\right\} \qquad (56)$$

Primul calcul în care se aplică (56) se face cu μ_r de valoare arbitrară (ex. $\mu_r = 100$).

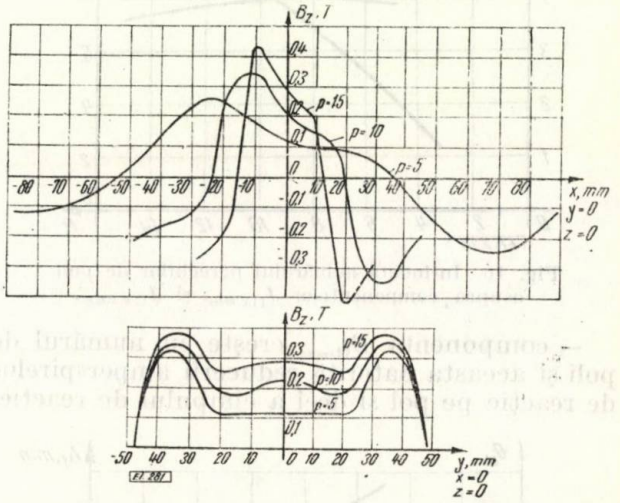


Fig. 21. Influenţa numărului perechilor de poli asupra distribuţiei componentei B_z.

Odată calculat p_{opt} şi μ_r (după cîteva iteraţii), cuplul maxim corespunzător este :

$$M_{11} = \frac{\pi LD\delta}{4\mu_0} \frac{1{,}8\, c^{5/3}}{4{,}3c + 2c^{1/3}} \left(1 + \frac{D \cdot c^{-2/3}}{6{,}4\, \delta\mu_r}\right)^2 B_{011}^2 \qquad (57)$$

5.2. *Influenţa numărului perechilor de poli asupra distribuţiei cîmpului*

În figurile 20 şi 21 este reprezentată distribuţia cîmpului pentru diferite perechi de poli. Examinînd aceste grafice, se constată :

— componenta B_x îşi păstrează alura distribuţiei şi valorile maxime sînt puţin influenţate ;

— componenta B_y are valorile maxime mai mari la un număr de poli mai redus. Acest rezul-

tat se explică în mod asemănător cu variaţia amplitudinii componentei B_{11y} (fig. 15);

— componenta B_z creşte cu numărul perechilor de poli (aceeaşi explicaţie ca pentru variaţia amplitudinii). Distribuţia după axa Oy (fig.21)

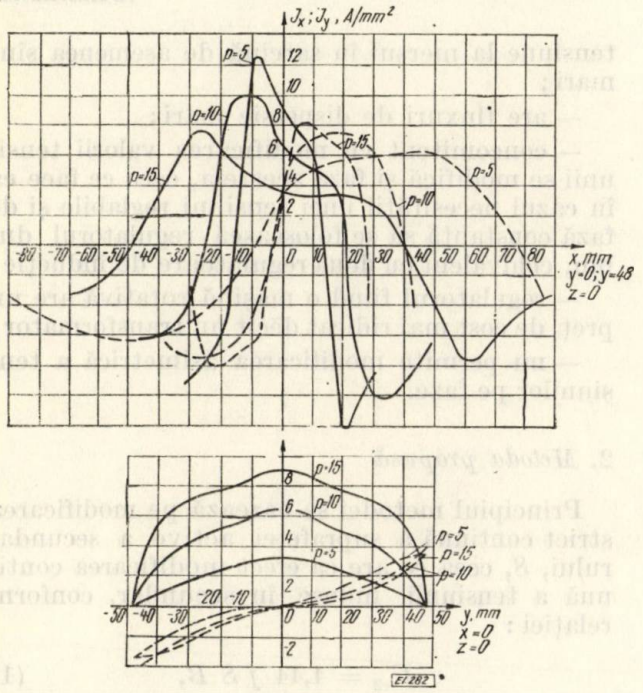


Fig. 22. Influenţa numărului perechilor de poli asupra distribuţiei:
– – – – componentei J_x; ——— componentei J_y.

arată că la un număr de poli mai reduşi apare o refulare mai accentuată a liniilor de cîmp spre capetele maşinii în comparaţie cu densitatea de flux în partea centrală.

În figura 22 se reprezintă distribuţia componentelor de curent. La un număr de poli mai redus densitatea J_x este repartizată mai uniform după Ox iar după Oy scăderea acesteia spre mijlocul maşinii este mult mai redusă. Componenta J_y are aliura de variaţie după Ox aceeaşi cu a componentei B_z în timp ce după axa Oy avem o intensificare a distribuţiei spre mijlocul maşinii. La creşterea numărului de poli se constată o creştere accentuată a acestei componente şi aceasta are loc pînă la o valoare după care densitatea (şi o dată cu aceasta şi cuplul) începe să scadă.

6. Concluzii

Din studiul precedent se pot rezuma următoarele:

— eroarea introdusă în calculul cîmpului şi cuplului prin soluţia obţinută cu aproximaţia $\gamma = \frac{\lambda}{\sqrt{2}}(1 + j)$ este inferioară valorii 9% respectiv 20% (pentru cuplu) şi la alunecări ce depăşesc 10%;

— alunecarea are o influenţă accentuată asupra densităţii de curent şi componentei B_{11z};

— cuplul mecanic are derivata la $s = 0$ proporţională cu volumul inductorului, patratul diametrului şi inducţiei de excitaţie şi invers proporţională cu rezistivitatea şi numărul de poli (rel. 42);

— alunecarea pentru care cuplul devine maxim scade pronunţat cu diametrul şi creşte cu numărul de poli, întrefierul şi rezisivitatea. Ţinînd seamă şi de influenţa permeabilităţii asupra lui ε_{11} care scade monoton cu alunecarea [8], valoarea obţinută cu (49) va fi în realitate mai mare întrucît cuplul creşte la scăderea permeabilităţii;

— alunecarea pentru care cuplul devine maxim scade pronunţat cu diametrul şi creşte cu numărul de poli, întrefierul şi rezistivitatea. Ţinînd seamă şi de influenţa permeabilităţii asupra lui ε_{11} care scade monoton cu alunecarea, [8], valoarea obţinută cu (49) va fi în realitate mai mare întrucît cuplul creşte la scăderea permeabilităţii;.

— cuplul între alunecarea pentru care cuplul este maxim şi $s=1$ se poate considera în prima aproximaţie constant şi egal cu cel maxim;

— creşterea numărului perechilor de poli reduce componenta B_{11z} şi intensifică componentele B_{11z}, B_{11x} şi J_{11y}. Aceasta se explică prin reducerea amperspirelor de reacţie pe pol şi prin modificarea raportului între distribuţia cîmpului după axa Ox respectiv Oy;

— cuplul prezintă un maxim la variaţia numărului de poli. Acest număr optim de poli este dat de relaţia (55) în care s-a făcut abstracţie de variaţia permeabilităţii cu acest parametru. Ţinînd seamă că permeabilitatea are un minim pentru $p = 1{,}88$ c [8] rezultă că numărul de poli optim este cuprins între: $(1{,}88 \div 3{,}2)$c.

Bibliografie

[1] *Răduleţ, R.* şi *Ifrim, A.* Calculul forţei şi cuplului frînelor cu disc feromagnetic al ambreiajelor şi motoarelor de inducţie cu rotorul masiv şi neted. În: Studii şi cercetări de electrotehnică, nr. 3, 1961.

[2] *Podzeev, A. D., Rozman B.* Cuplaje şi frîne electromagnetice cu indus masiv. Bucureşti, Editura tehnică, 1965.

[3] *Sarov, B. S.*, Electromagnitnîie mufti skoljenia GEI, 1958.

[4] *Duvies, E., Iohn, A.* An Experimental and Theoretical Study of Eddy-Curents Couplings and Brakes. În: I.E.E.E. Transactions on Power Apparatus and Systema, vol. **82**, aug. 1963, p. 401.

[5] *Malti, M. G., Ramakumar, R.* Three Dimensional Theory of the Eddy-Curents Couplings. In: I.E.E. Transactions of Power Apparatus Systems, cot. 1963.

[6] *Bompa, L.* Des consideration théoriques sur le couplage asynchrone à rotor ferromagnetique. In: Bul. Inst. Politehnic Gh. Gheorghiu Dej, tom. **XXIX**, nr. 2, 1967.

[7] *Bompa, L.* Cîmpul magnetic al unui dispozitiv feromagnetic cu armătură şi periodicitate axială. In: Studii şi cercetări de electrotehnică, tom. **18**, nr. 2, 1968.

[8] *Bompa, L.* L'étude de la permeabilité à la surface de l'induit du couplage asynchrone. In: Bul. Inst. Politehnic Gh. Gheorghiu-Dej (In cours de apariţie).

Intrat în redacţie la 19 XII 1968

Transformator pentru varierea continuă a tensiunii sub sarcină

ALFRED NATRAȘEVSCHI ȘI CORNEL AVRAM * — Timișoara

CZ 621.314.2.072.2

Realizarea unei variații continue a tensiunii sub sarcină apare ca necesară în multe laboratoare de cercetări cît și în întreprinderi productive. Pentru aceasta se utilizează în prezent metode care prezintă o serie de dezavantaje care le limitează considerabil utilitatea practică.

În lucrare se analizează metodele existente și se propune o metodă studiată și experimentată în cadrul laboratorului de Mașini electrice al Institutului politehnic Timișoara.

1. Metode utilizate pentru realizarea variației continue a tensiunii sub sarcină

În prezent se utilizează următoarele procedee :

— transformatorul cu flux transversal;
— regulatorul de inducție;

a) *Transformatorul cu flux transversal* se construiește în manta cu lățimea ferestrei cît mai mică. Pe coloana centrală este așezat bobinajul primar care este secționat în două bobine legate în paralel și în sens invers, astfel încît în gol fluxurile produse să se închidă transversal prin fereastră. Bobinajul secundar are lungimea axială egală cu cea a unei bobine primare și se poate deplasa în direcție axială. Tensiunea U_2 indusă în secundar este maximă cînd acesta se află deasupra unei bobine primare. Deplasînd secundarul, tensiunea la bornele sale variază între limitele $+ U_2$ și $- U_2$.

Dezavantajele metodei sînt următoarele :

— acest tip de transformator absoarbe un curent de magnetizare (curent de mers în gol) foarte mare și în sarcină dă căderi de tensiune mari;
— necesită un miez magnetic în manta, deci permite numai construcții monofazate care trebuie grupate pentru obținerea unui sistem trifazat;
— variația tensiunii cu deplasarea nu este perfect liniară;
— are fluxuri de dispersie foarte mari.

b) *Regulatorul de inducție este o mașină asincronă* cu rotorul calat care funcționează în regim de transformator. Modificarea tensiunii se realizează prin rotirea indusului față de inductor.

Dezavantajele metodei sînt :

— curentul de mers în gol este de valori mari (30—50% din curentul nominal), iar căderile de tensiune la mersul în sarcină de asemenea sînt mari;
— are fluxuri de dispersie mari;
— concomitent cu modificarea valorii tensiunii se modifică și faza acesteia, ceea ce face ca în cazul necesității unei tensiuni reglabile și de fază constantă să se folosească regulatorul dublu, echivalent cu două regulatoare de inducție;
— regulatorul fiind o mașină rotativă are un preț de cost mai ridicat decît un transformator;
— nu permite modificarea asimetrică a tensiunilor pe faze.

2. Metoda propusă

Principiul metodei se bazează pe modificarea strict continuă a suprafeței active a secundarului, S, ceea ce are ca efect modificarea continuă a tensiunii induse în secundar, conform relației :

$$U_{e2} = 4{,}44\ f\ S\ B, \qquad (1)$$

unde : f este frecvența fluxului inductor;
S — suprafața totală a bobinajului secundar;
B — inducția electromagnetică.

Modificarea continuă a suprafeței active a secundarului se realizează prin deplasarea conductorului *4* și a periei *1* pe elicea *2* a bobinajului secundar (fig. 1*a*) care este dezizolat pe suprafața exterioară. Legătura electrică de la perie este introdusă pînă în centrul 0 al spirei *2* și deci al coloanei *3* a transformatorului, prin conductorul *4*. Conductorul *4* are posibilitatea de a roti o dată cu peria *1* în jurul axei 0 a coloanei străbătută de cîmpul $\overline{B}$. În continuarea conductorului 4 legătura se scoate prin conductorul fix *5*

Tensiunea variabilă de ieșire a transformatorului se culege între începutul bobinajului secundar (punctul *a*) și capătul conductorului fix (punctul *b*).

Notînd : U_{esp} — tensiunea indusă într-o spiră;
U_{eab} — tensiunea la bornele *ab* pentru poziția curentă a periei, pentru ori ce poziție a periei se poate scrie relația :

$$\frac{U_{eab}}{U_{esp}} = \frac{\alpha}{2\pi}, \qquad (2)$$

* Ing. *A. Natrașevschi* este asistent la catedra de Mașini electrice din I.P.T.; *C. Avram* absolvent al facultății de Eletrotehnică din I.P.T.

Prin deplasarea periei *1* pe elicea bobinajului *2*, unghiul α ia valori în mod continuu de la 0 la $2\pi n$ (n — numărul de spire al secundarului), ceea ce determină varierea continuă a tensiunii U_{eab} de la 0 la nU_{esp}, conform relației (2). Pentru a asigura deplasarea conductorului *4* în cîmpul $\bar{B}$, coloana *3* este secționată ca în figura 1b, la nivelul incidenței în jugul superior.

În intrefierul astfel realizat se rotește porțiunea *4'* a conductorului *4*. Porțiunea *4''* este

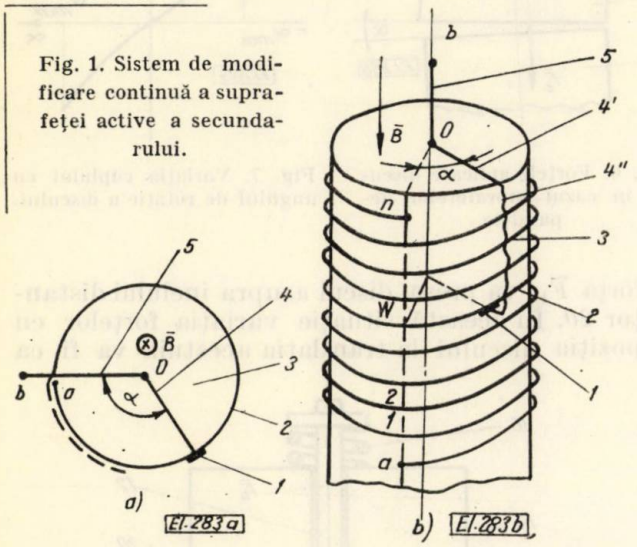


Fig. 1. Sistem de modificare continuă a suprafeței active a secundarului.

flexibilă și asigură contactul la perie. Conductorul *5* iese deasupra jugului printr-un orificiu făcut în acesta, coaxial cu coloana.

Tensiunea indusă între bornele *a* și *b* pentru o poziție oarecare a periei, ca în figura 1b, (unde *w* este numărul curent întreg de spire active), este :

$$U_{eab} = wU_{esp} + \frac{\alpha}{2\pi} U_{esp}. \qquad (3)$$

Relațiile (2) și (3) sînt valabile în ipoteza că inducția este aceeași în toată secțiunea secundarului și rămîne astfel atît la mersul în gol cît și în sarcină.

Realizarea practică a principiului propus ridică o serie de probleme care au fost rezolvate după cum urmează ;

Pentru deplasarea în cîmp a conductorului *4'* este necesar un întrefier relativ mare care ar duce la o creștere importantă a curentului de mers în gol I_o. Pentru a evita acest lucru, conductorul *4'* a fost înglobat într-un disc din material feromagnetic, asamblat din tole. Discul este realizat ca în figura 2.

Scheletul de rigidizare al discului este format din tija *12*, piesa *11* și prezoanele *8*. Tolele *6* sînt strînse cu ajutorul tolelor de întărire *7* și a piuliților *9*. Conductorul *4'*, *5* cu izolația *10*, trece prin piesa *11* și tija *12* pînă în partea superioară a jugului. Mișcarea de rotație a discului se imprimă cu o roată melcată fixată la partea superioară a tijei *12*.

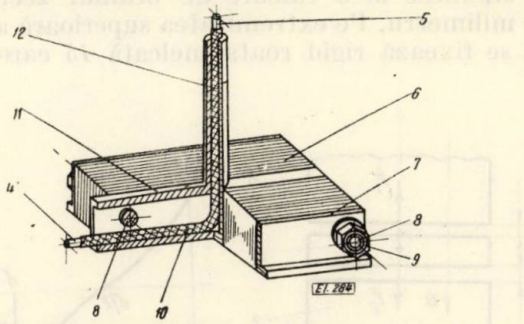


Fig. 2. Construcția discului feromagnetic.

În ansamblu o coloană a transformatorului este realizată ca în figura 3.

În intrefierul practicat între coloana *3* și jugul *14* este introdus discul *13*, construit ca în

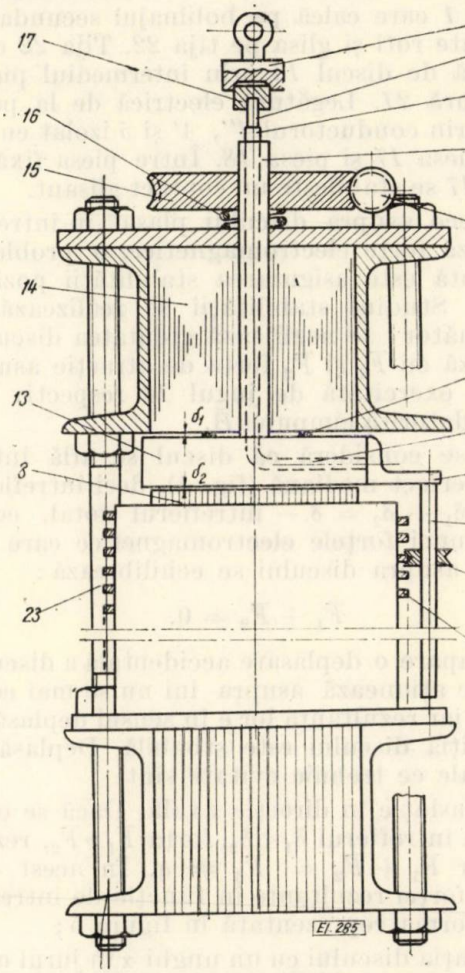


Fig. 3. Principiul construcției de ansamblu a unei faze a transformatorului.

figura 2. Intrefierul δ_1 se menține cu ajutorul inelului *20* și al elementului elastic *16* care presează discul asupra jugului. Intrefierul δ_2 se

stabileşte cu ajutorul tiranţilor *23* care mai au şi rolul de a fixa jugul superior, detaşat prin secţionarea coloanelor. Intrefierurile δ_1 şi δ_2 se stabilesc la o valoare de ordinul zecimilor de milimetru. Pe extremitatea superioară a tijei *12* se fixează rigid roata melcată *15* care este

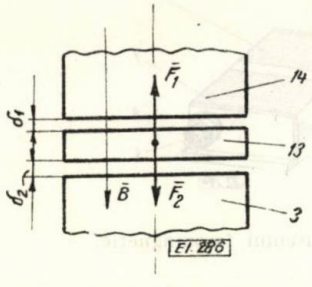


Fig. 4. Forţele aplicate discului în cazul suprafeţelor paralele.

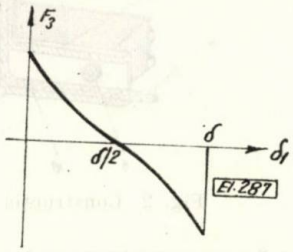


Fig. 5. Variaţia forţei rezultante cu întrefierul.

antrenată de melcul *19*. Peria este realizată din rola *1* care calcă pe bobinajul secundar *2* şi ea poate roti şi glisa pe tija *22*. Tija *22* este antrenată de discul *13* prin intermediul piesei de legătură *21*. Legătura electrică de la perie se face prin conductorul *4''*, *4'* şi *5* izolat cu *10*, şi prin piesa *17* şi piesa *18*. Între piesa fixă *18* şi piesa *17* se stabileşte un contact glisant.

Deoarece asupra discului plasat în întrefier acţionează forţe electromagnetice, o problemă importantă este asigurarea stabilităţii poziţiei discului. Studiul stabilităţii se realizează în felul următor: se neglijează greutatea discului, se notează cu $\overline{F}_1$ şi $\overline{F}_2$ forţa de atracţie asupra discului, exercitată de jugul *14* respectiv coloana *3*, datorită cîmpului $\overline{B}$.

Dacă se consideră că discul se află într-o poziţie perfect mediană (fig. 4), deci întrefierul $\delta_1 = \delta_2$ ($\delta_1 + \delta_2 = \delta$ — intrefierul total, constant), atunci forţele electromagnetice care acţionează asupra discului se echilibrează:

$$\overline{F}_1 + \overline{F}_2 = 0.$$

Dacă apare o deplasare accidentală a discului forţele ce aţionează asupra lui nu se mai echilibrează, iar rezultanta lor e în sensul deplasării, deci poziţia discului este stbabilă. Deplasările accidentale ce trebuie evitate sînt:

a) Translaţie în direcţie axală. Dacă se consideră că întrefierul $\delta_1 < \delta_2$, forţa $\overline{F}_1 > \overline{F}_2$, rezultanta lor $\overline{F}_1 + \overline{F}_2 = \overline{F}_3 \neq a$. În acest caz variaţia forţei rezultante în funcţie de întrefier este de forma reprezentată în figura 5;

b) Rotaţia discului cu un unghi α în jurul unei axe transversale ce trece prin centrul său (fig. 6). În această situaţie forţele $\overline{F}_1$ şi $\overline{F}_2$ vor fi dezaxate la o distanţă e. Se poate considera $F_1 = F_2$. Apare un cuplu $C_1 = e\,F_1$. Variaţia cuplului C_1 cu unghiul α este de forma reprezentată în figura 7.

Pentru a asigura stabilitatea poziţiei discului este suficientă suprapunerea unei forţe elastice peste forţa electromagnetică. Acest lucru se realizează practic în felul următor (fig. 8):
discul *13* este plasat între jugul *14* şi coloana *3*. Prin intermediul tijei *12* arcul *16* care dezvoltă

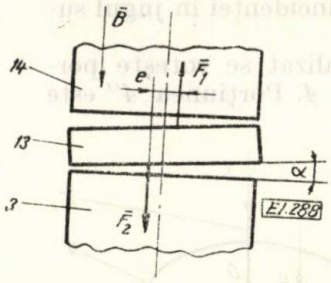


Fig. 6. Forţele aplicate discului în cazul suprafeţelor neparalele.

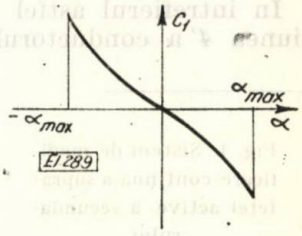


Fig. 7. Variaţia cuplului cu unghiul de rotaţie a discului.

forţa $\overline{F}_4$, va presa discul asupra inelului distanţor *20*. În această situaţie variaţia forţelor cu poziţia discului la translaţia acestuia va fi ca

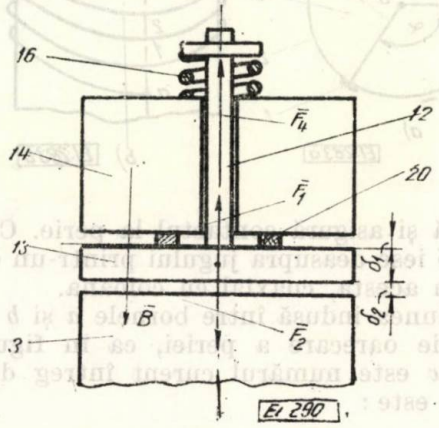


Fig. 8. Dispozitiv de stabilizare a poziţiei discului.

în figura 9. Forţa de stabilizare a discului în poziţie mediană este $\overline{F}_5 = \overline{F}_4 + \overline{F}_3$ şi corespunde porţiunii haşurate din figură. La o

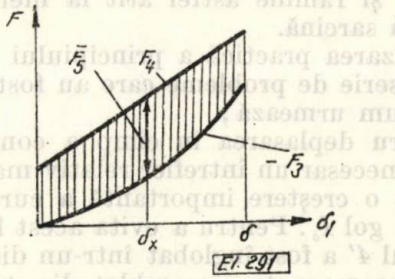


Fig. 9. Variaţia forţei de stabilizare cu întrefierul.

deplasare ca în cazul *b*), discul nu se va sprijini pe întreg inelul *20* ci numai pe un punct al periferiei acestuia. Forţa F_4 va da, faţă de acest punct, un cuplu C_2 (fig. 10). Cuplul

de readucere a discului în poziție mediană este $\overline{C}_3 = \overline{C}_1 + \overline{C}2$ și corespunde porțiunii haşurate.

Din cele arătate se observă că prin prevederea elementului elastic *16*, dimensionat, corespun-

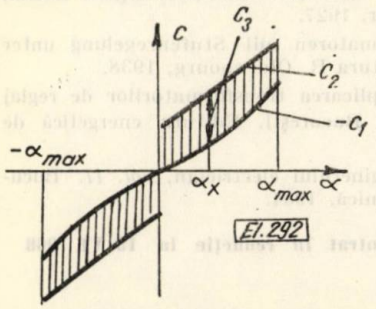


Fig. 10. Variația cuplului de stabilizare cu unghiul de rotație al discului.

zător se asigură revenirea discului din orice situație în poziția de echilibru și deci stabilitatea

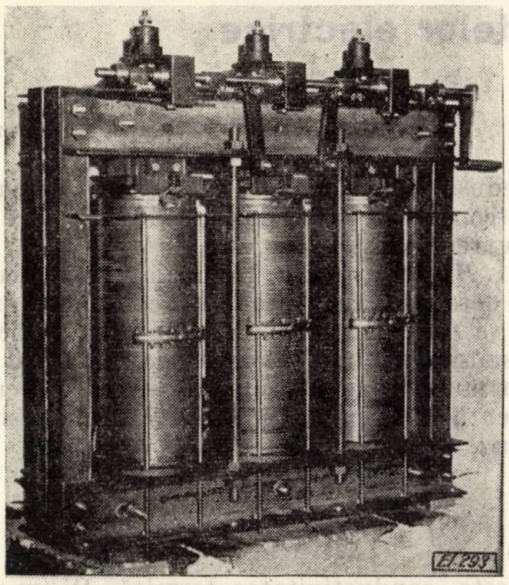


Fig. 11. Vedere de ansamblu a transformatorului.

acestuia. Prin aceasta se evită vibrațiile sistemului, deci zgomotul și uzura mecanică.

Construcția este analogă pe toate coloanele transformatorului. Cei trei melci sînt așezați pe un ax comun care se rotește cu ajutorul unei manivele sau cu un servomotor. Prin rotirea manivelei și deci a discurilor se obține varierea continuă a tensiunii, de la zero la tensiunea maximă.

Prin deblocarea unuia sau a doi melci de pe axul de antrenare și rotirea manivelei, se pot obține tensiuni asimetrice pe cele trei faze.

Transformatorul propus are următoarele avantaje :

— curentul de mers în gol I_0 este mult mai mic decît la metodele cunoscute, 16% din curentul nominal față de 25% la un regulator de inducție de aceeași putere; prin introducerea pulberii de ferită în cele două intrefieruri de pe fază s-a obținut reducerea curentului de mers în gol la circa 12% ;

— construcție relativ simplă și preț de cost scăzut ;

— manipulare simplă ;

— fluxurile de dispersie mult mai mici decît la metodele cunoscute ;

— căderi de tensiune în sarcină mici (9% la sarcină nominală) ;

— permite modificarea tensiunii fără a-i modifica și faza.

3. *Încercări experimentale*

Pe baza principiului propus, în cadrul laboratorului de mașini electrice al facultății de Electrotehnică din Institutul politehnic Timișoara, a fost executat un prototip (fig. 11) cu următoarele caracteristici : $P_n = 40$ kVA ; $U_{1n} = 380$ V ; $U_{2n} = 0 - 400$ V ; $I_{1n} = 60$ A ; $I_{2n} = 58$ A. Dimensiunile de gabarit $750 \times 700 \times 310$ mm. Greutatea 230 kg.

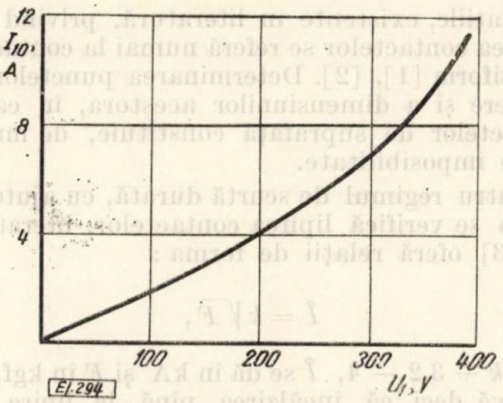


Fig. 12. Caracteristica de mers în gol.

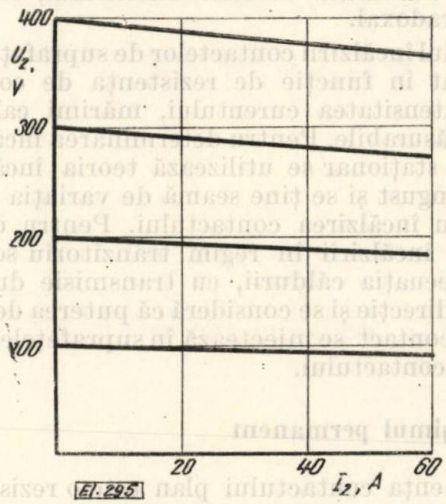


Fig. 13. Caracteristici exterioare.

În figura 12 este reprezentată caracteristica de mers în gol, iar în figura 13 sînt reprezentate caracteristici exterioare pentru patru poziții ale periilor, la o sarcină rezistivă.

4. *Concluzii*

Din cele prezentate rezultă că metoda propusă prezintă avantaje asupra celorlalte metode din punct de vedere funcțional și economic. Acest fapt o recomandă spre a fi utilizată în laboratoare de cercetări și în industrie, ori de cîte ori este necesară realizarea unei variații, în limite largi, a tensiunii alternative.

Bibliografie

[1] *Richter, R.* Mașini electrice, *vol. III.* București, Editura tehnică, 1960.

[2] *Piotrovschi, I. M.* Mașini electrice. București, Editura energetică de stat, 1953.

[3] *Bulgacov, N. I.* Calculul transformatorilor. București, Editura tehnică, 1951.

[4] *Schait, H. F.* Der Drehstrom-Induktionsrgler. Berlin, Editura J. Springer, 1927.

[5] *Bolte, K.* Transformatoren mit Stufenregelung unter last. Munchen, Editura R. Oldenbourg, 1938.

[6] *Holnschi, V. G.* Aplicarea transformatorilor de reglaj în rețele electrice. București, Editura energetică de stat, 1952.

[7] * * * Manualul inginerului electrician, *vol. II.* București, Editura tehnică, 1954.

Intrat în redacție la 19 VI 1968

Relații noi privind încălzirea contactelor electrice

GHEORGHE HORTOPAN* — București

CZ 621.3.066.6 ;621.3.017.7.001.24

Relațiile, existente în literatură, privind încălzirea contactelor se referă numai la contactul punctiform [1], [2]. Determinarea punctelor de atingere și a dimensiunilor acestora, în cazul contactelor de suprafață constituie, de multe ori, o imposibilitate.

Pentru regimul de scurtă durată, cu ajutorul căruia se verifică lipirea contactelor, literatura [1], [3] oferă relații de forma :

$$\hat{I} = k\sqrt{F},$$

unde $k \div 3{,}2 - 4$, $\hat{I}$ se dă în kA și F în kgf. Se observă deci că încălzirea pînă la lipire nu depinde de durata trecerii curentului, ceea ce pare paradoxal.

Calculul încălzirii contactelor de suprafață este prezentat în funcție de rezistența de contact și de intensitatea curentului, mărimi calculabile și măsurabile. Pentru determinarea încălzirii în regim staționar se utilizează teoria încălzirii locului îngust și se ține seamă de variația rezistenței cu încălzirea contactului. Pentru determinarea încălzirii în regim tranzitoriu se utilizează ecuația căldurii, cu transmisie după o singură direcție și se consideră că puterea dezvoltată în contact se injectează în suprafețele frontale ale contactului.

1. Regimul permanent

Rezistența contactului plan este o rezistență de stricțiune și deci încălzirea acestui contact este încălzirea unui loc îngust [4] unde dimensiunea longitudinală a locului îngust este extrem de redusă. Se poate deci considera că locul îngust (contactul) nu cedează căldură către mediul exterior.

1.1. *Efectul de capăt.* În prealabil este necesar să se determine încălzirea unui conductor drept, cînd se ține seamă de efectul de capăt, adică de transmisia căldurii dezvoltată de contactul electric în lungul conductorului. În acest caz ecuația diferențială a încălzirii conductorului este de forma :

$$\frac{\lambda}{c_1}\cdot\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2} - \frac{\alpha l_p}{c_1 A}\theta + \frac{\rho J^2}{c_1} = 0, \qquad (1)$$

unde :

λ este conductivitatea termică, W/(m.grd) ;
c_1 — căldura specifică volumică, Ws/m³·grd ;
α — transmisivitatea globală a căldurii la periferia conductorului, W/(m²·grd) ;
l_p — lungimea periferică a conductorului, m ;
J — densitatea de curent, $J = \frac{I}{A}$, A/m² ;
A — aria secțiunii transversale a conductorului., m² ;
ρ — rezistivitatea materialului, Ω m ;
θ — încălzirea conductorului, grd.

Deoarece rezistivitatea este dependentă de încălzire după relația :

$$\rho = \rho_p(1 + \alpha_R\,\theta), \qquad (2)$$

unde ρ_p este rezistivitatea la temperatura de preîncălzire, iar α_R este coeficientul de temperatură al rezistivității materialului. În aceste condiții ecuația diferențială (1) ia forma :

$$\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2} - \frac{\alpha l_p - \alpha_R \rho_p J^2 A}{\lambda A}\theta + \frac{\rho_p J^2}{\lambda} = 0. \qquad (3)$$

* Dr. ing. *Gh. Hortopan* este profesor la facultatea de Electrotehnică din Institutul politehnic-București

Soluția ecuației diferențiale (3) este :

$$\theta = (\theta^* - \theta_{max})\, e^{(\beta x)} + \theta_{max} \qquad (4)$$

cu demonstrația dată în anexa 1 și notațiile :

$$\theta_{max} = \frac{\theta_{0max}}{1 - \alpha_R\, \theta_{0max}}, \qquad (5)$$

încălzirea conductorului în regim stabilizat la o distanță foarte mare, teoretic infinită, de la locul contactului, grd ;

$$\theta_{0max} = \frac{\rho_p J^2 A}{\alpha l_p}, \qquad (6)$$

încălzirea conductorului, la o distanță foarte mare, teoretic infinită, de la locul contactului în ipoteza rezistivității constante, adică nedependenții cu încălzirea conductorului, grd ;

θ^* — încălzirea suprafeței frontale a contactului, grd ;

$$\beta = \sqrt{\frac{\alpha l_p - \alpha_R\, \rho_p J^2 A}{\lambda A}}, \qquad (7)$$

inversul constantei liniare de încălzire ;

$T_i = \frac{1}{\beta}$ — constanta liniară de încălzire, m.

1. 2. *Bilanțul puterilor și expresia încălzirii suprafeței frontale a contactului.* Jumătate din puterea dezvoltată în rezistența de contact este transmisă, prin conductivitate, unei suprafețe frontale a contactului, adică :

$$\frac{RI^2}{2} = \frac{P}{2} = -\lambda A \left(\frac{\partial \theta}{\partial x}\right)_{x=0}. \qquad (8)$$

Din relația (4) se calculează gradientul de temperatură în locul de contact :

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial x}\right)_{x=0} = -\beta(\theta^* - \theta_{max})$$

astfel încît ecuația (8) se transformă în :

$$\theta^* = \frac{P}{2\lambda A \beta} + \theta_{max}. \qquad (9)$$

Se observă că expresia (9), a încălzirii suprafeței frontale a contactului, are două componente și anume :

$$\theta_c = \frac{P}{2\lambda A \beta}, \qquad (10)$$

care reprezintă încălzirea datorită rezistenței de strictiune în contact și θ_{max}, care reprezintă încălzirea conductorului în regim permanent.

1. 3. *Aplicații numerice și verificări experimentale.* S-au efectuat calcule numerice și verificări experimentale pentru bare de secțiune 20×5 mm² de lungime 1 500 mm. Contactul s-a realizat prin suprapunerea barelor pe lungimi de 10, 20, 30 mm. S-a măsurat și căderea de tensiune pe contact pentru forțe, aplicate contactului, de 1 ; 5 ; 10 kgf. Barele au fost din cupru argintat.

Intensitatea curentului care a trecut prin contact a fost de 200 A.

Calculele s-au efectuat cu următoarele valori de mărimi fizice :

$\rho_p = 0{,}018 \cdot 10^{-6} \Omega m$; $A = 100 \cdot 10^{-6}$ m² ;

$\alpha = 12 \frac{W}{m^2\, grd}$; $\lambda = 393 \frac{W}{m\, grd}$;

$l_p = 0{,}05$ m ; $\alpha_R = 4{,}25 \cdot 10^{-3}\, grd^{-1}$

$J = 2 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2}$;

A rezultat, după relația (5), $\theta_{max} = 12{,}8$ grd și după relația (7), $\beta = 3{,}81\ m^{-1}$. Rezultatele finale sînt concentrate în tabela 1.

Tabela 1

Încălzirea contactului în regim permanent

F, kgf	U_C, mV	θ_C, grd,		Suprapunerea
măsurat	măsurat	calculat	măsurat	
10	5	3,34	2,4	
5	8	5,33	3,4	30 mm
1	15	10,02	6,9	
10	5	3,34	1,6	
5	11	7,3	3,7	20 mm
1	22	14,6	14,5	
10	7,5	5,01	4,2	
5	10	6,64	5,4	10 mm
1	18	12	14,8	

Se poate constata că există o concordanță apreciabilă între rezultate obținute prin calcul și cele date de măsurătoarea directă, cu toate că formarea rezistenței de contact are un caracter aleator și deși contactele au fost realizate prin suprapunere, în timp ce teoria a fost elaborată pentru contacte cap la cap.

O concordanță foarte bună apare în cazul suprapunerilor mici cînd aria aparentă a contactului tinde către aria secțiunii transversale a conductorului.

Observație importantă. Experimentarea s-a efectuat cu bare omogene de lungime 1,5 m,

în scopul eliminării efectului de capăt dinspre partea alimentării cu energie. În adevăr constanta liniară a încălzirii barei este $T_l = 1/\beta = 0{,}262$ m deci sensibil mai mică decît lungimea barei. La aparatele construite încălzirea unui contact este influențată de celelalte contacte apropiate.

Astfel, la un contactor cu întrerupere dublă, lungimea punții este de 60÷80 mm, iar calea de curent între punte și borna aparatului este tot de ordinul 60÷100 mm. În concluzie, pe o distanță relativ mică în raport cu constanta liniară a încălzirii, există patru contacte. Datorită influențelor contactelor învecinate și în concordanță cu relația (4) încălzirea punții unui contactor este de 2 pînă la 4 ori mai mare decît încălzirea dată de relația (10), care presupune racorduri de lungime sensibil mai mare decît constanta liniară de încălzire.

2. Regimul tranzitoriu

Studiul regimului tranzitoriu, de scurtă durată, prezintă interes pentru verificarea încălzirii contactelor, și deci evitarea lipirii la trecerea curenților de scurtcircuit, a căror acțiune este limitată în timp de sistemele de protecție. Ipotezele de calcul sînt următoarele :

Se consideră ecuația căldurii, cu transmisie prin conductivitate într-o singură direcție. La un cap al conductorului se injectează jumătate din puterea dezvoltată în contact prin efect Joule, ceea ce este adminisibil avînd în vedere că rezistența de contact este o rezistență de strictiune. Ecuația căldurii are expresia

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = k^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \tag{11}$$

cu notația :

$$k^2 = a = \lambda / c_1$$

Prin aplicarea transformării Laplace se obține :

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} - \frac{p}{k^2} \Theta = 0$$

cu soluția în domeniul imagine :

$$\Theta = A_1 e^{\gamma x} + A_2 e^{-\gamma x}, \tag{12}$$

unde $\gamma = \sqrt{p}/k$, iar $\Theta = \mathfrak{L}\,\theta$. Constantele A_1 și A_2 urmează să fie determinate în funcție de condițiile la graniță. Una din condiții se scrie sub forma :

$$-\lambda A \left(\frac{\partial \theta}{\partial x}\right)_{x=0} = \frac{Ri^2}{2}, \tag{13}$$

și reprezintă procesul fizic al transmisiei (injecției), prin conductivitate, a puterii dezvoltată în contact, în cele două suprafețe frontale ale contactului. A doua condiție arată că încălzirea contactului nu are influență la o distanță foarte mare de locul contactului, adică pentru $x = \infty$ și $t = 0$ rezultă :

$$p = \infty ; \theta = 0 ; \Theta = 0. \tag{14}$$

Soluția ecuației (11) depinde de felul excitației care ia forme particulare în ecuația (13).

2.1. Excitația treaptă, rezistență de contact constantă. Pentru încălziri ale contactului de ordinul gradelor, ceea ce corespunde situației unui contact prin care trece curentul nominal sau subnominal, se poate considera că valoarea rezistenței de contact nu variază cu încălzirea contactului. În acest caz soluția ecuației (11) este :

$$\theta = \frac{RI^2 k}{2\lambda A}\left[\frac{2te^{-\frac{x^2}{4k^2t}}}{\sqrt{\pi t}} - \frac{x}{k}\left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-y^2}\,dy\right)\right], \tag{15}$$

unde :

I este intensitatea curentului care trece prin contact ;

$$z = \frac{x}{2k\sqrt{t}} ;$$

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-y^2}\,dy \text{ — funcția erorilor.}$$

Demonstrația relației (15) este dată în anexa 2.

Prezintă interes încălzirea pe suprafața de contact, adică pentru $x = 0$. În acest caz, din relația (15) se obține :

$$\theta_{x=0} = \frac{RI^2\sqrt{t}}{A\sqrt{\pi \lambda c_1}}, \tag{16}$$

ecuație obținută și de Kesselring [1]. Din relația (16) rezultă că încălzirea suprafeței de contact crește proporțional cu rădăcina pătrată a duratei trecerii curentului.

2. 2. Excitație treaptă, rezistență de contact dependentă de încălzire. Acesta este cazul încălzirii în curent continuu, în regim de scurtcircuit, cînd există pericolul topirii și lipirii contactelor din cauza unei încălziri excesive. Rezistența de contact ia forma

$$R = R_p\left(1 + \frac{2}{3}\alpha_R \theta\right), \tag{17}$$

unde R_p este rezistența de preîncălzire a contactului. Pentru aceste condiții soluția ecuației căldurii în domeniul original, pentru un punct situat pe suprafața de contact, este :

$$\theta_{x=0} = \frac{b}{c}\left\{e^{c^2 t}\left[\Phi\left(c\sqrt{t}\right) + 1\right] - 1\right\}, \tag{18}$$

I.11954/70 MONTPAN GH Vállalat építések mélyítésére Vonathoz új összeállások Elektrotechnica 9.sz. 1969. P.344-349. MŰ-Ak-4956 OMIKK /FRANKVILL/no 1970 JUL 7

cu demonstr...

$$\Phi$$

Ecuaţia ... pierea pur... contact.

2.3. Exc... stantă. Ac... pentru în... Soluţia e... forma i = ...

$$\cdot [\cos 2\omega t \cdot C(2\omega t) + \sin 2\omega t \cdot S(2\omega t)] \int (\ldots)$$

cu demonstraţia din anexa 4.

Ecuaţia (19) conţine expresiile integralelor Fresnel:

$$C(2\omega t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{2\omega t} \frac{\cos u}{\sqrt{u}}\, du, \qquad (20)$$

$$S(2\omega t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{2\omega t} \frac{\sin u}{\sqrt{u}}\, du, \qquad (21)$$

cu definirea normală a pulsaţiei $\omega = 2\pi f$.

2. 4. Aplicaţii numerice şi reprezentări grafice. S-au efectuat calcule privind încălzirea în regim tranzitoriu a unui contact din cupru cu piese circulare de diametru 20 mm, aşezate cap la cap.

Acest contact este definit de următoarele mărimi:

$$A = 3{,}14 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}^2;$$
$$\lambda = 393\ \mathrm{Ws/(m.\ grd)};$$
$$c_1 = 3{,}45 \cdot 10^{6}\ \mathrm{Ws/(m^3 \cdot grd)};$$
$$\alpha_R = 4{,}2 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{grd^{-1}}$$

La excitaţia în curent continuu s-a considerat:

$$I = 10\ \mathrm{kA};$$
$$R = 5 \cdot 10^{-4}\ \Omega;$$
$$RI^2 = 5 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{W};$$

cu reprezentarea grafică din figura 1, curba A, pentru rezistenţa constantă a contactului şi curba B, pentru rezistenţa dependentă de încălzire.

La excitaţia în curent alternativ s-a păstrat valoarea efectivă a intensităţii curentului alternativ egală cu valoarea intensităţii curentului continuu din cazul precedent, adică $I = 10$ kA. De asemenea s-au conservat valorile pentru rezistenţă ca şi dimensiunile şi materia-

contactului. S-a obţinut astfel curba C din ...ra 1. Se constată că, în cazul excitaţiei în ...ent alternativ, încălzirea urmăreşte cu în...iere oscilaţiile curentului alternativ.

Pentru efectuarea calculelor numerice s-a ...osit lucrarea Jahnke, Emde, Lösch [5], în

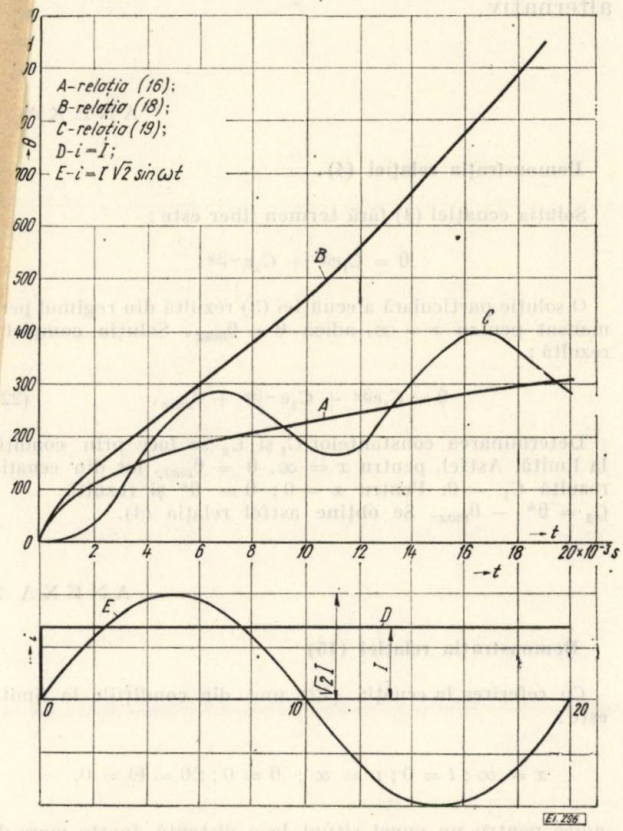


Fig. 1. Încălzirea în regim de scurtă durată

care funcţia erorilor şi integralele Fresnel sînt tabelate.

3. *Observaţii şi concluzii*

Aplicarea teoriei locului îngust la calculul încălzirii contactelor de suprafaţă în regim permanent conduce la rezultate foarte apropiate de valorile măsurate. În acelaşi timp generalizarea acestei teorii la căile de curent ale unui aparat de conectare scoate în evidenţă faptul că încălzirea unui contact este mult influenţată de existenţa unor contacte învecinate. Astfel că, valoarea nominală a încălzirii contactelor unui contactor cu dublă întrerupere trebuie să se considere cel puţin dublul valorii calculate pentru un contact.

Regimul tranzitoriu al încălzirii contactelor de suprafaţă poate fi cuprins în relaţii analitice, care conţin expresiile funcţiei erorilor (la excitaţia în curent continuu) şi integralele Fresnel (în cazul excitaţiei în curent alternativ). În acest ultim caz este de remarcat faptul că încălzirea urmăreşte cu întîrziere oscilaţiile

intensității curentului. Această observație este de natură calitativă, în măsura în care nu s-a ținut seamă de variația rezistenței cu încălzirea. Pentru calcule practice acoperitoare, în cazul oscilației sinusoidale, se poate accepta o încălzire de curent continuu la o intensitate a curentului egală cu valoarea de vîrf a curentului alternativ.

ANEXA 1

Demonstrația relației (4).

Soluția ecuației (3) fără termen liber este:

$$\theta = C_1 e^{\beta x} + C_2 e^{-\beta x}.$$

O soluție particulară a ecuației (3) rezultă din regimul permanent pentru $x = \infty$, adică $\theta = \theta_{max}$. Soluția completă rezultă:

$$\theta = C_1 e^{\beta x} + C_2 e^{-\beta x} + \theta_{max}. \tag{22}$$

Determinarea constantelor C_1 și C_2 se face prin condiții la limită. Astfel, pentru $x = \infty$, $\theta = \theta_{max}$, iar din ecuație rezultă $C_1 = 0$. Pentru $x = 0$; $\theta = \theta^*$ și rezultă $C_2 = \theta^* - \theta_{max}$. Se obține astfel relația (4).

ANEXA 2

Demonstrația relației (15)

Cu referirea la ecuația (12) una din condițiile la limită este:

$$x = \infty\,;\ t = 0\,;\ p = \infty\,;\ \theta = 0\,;\ \mathfrak{L}\theta = \Theta = 0,$$

adică pentru un punct situat la o distanță foarte mare de contact încălzirea contactului nu are influență. Această condiție introdusă în ecuația (12) conduce la $A_1 = 0$ și deci ecuația (12) se transformă în: :

$$\Theta = -A_2 e^{-\gamma x}. \tag{23}$$

Prin derivare în raport cu x se obține:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial x} = -A_2 \gamma e^{-\gamma x}. \tag{24}$$

Condiția (13) aplicată în domeniul imagine, împreună cu ecuația (24), pentru $i = I$, conduce la:

$$\left(\frac{\partial \Theta}{\partial x}\right)_{x=0} = -\frac{1}{p} \cdot \frac{\gamma A_2 R I^2}{2\lambda A}, \tag{25}$$

de unde se extrage expresia constantei A_2:

$$A_2 = \frac{1}{p\sqrt{p}} \cdot \frac{RI^2 k}{2\lambda A}$$

și apoi se obține soluția în domeniul imagine:

$$\Theta = \frac{RI^2 k}{2\lambda A} \cdot \frac{1}{p\sqrt{p}}\, e^{-\frac{\sqrt{p}}{k} x}. \tag{26}$$

Soluția în domeniul original, care este ecuația (15), este dată în tabele [6].

ANEXA 3

Demonstrația relației (18).

Ținînd seamă de dependența rezistivității cu încălzirea, din relația (17), condiția (13) aplicată în domeniul imagine, împreună cu ecuația (24), conduce la:

$$A_2 = \frac{1}{p\sqrt{p}} \cdot \frac{R_p I^2 k}{2\lambda A} + \frac{\Theta}{\sqrt{p}} \cdot \frac{R_p \alpha_R I^2 k}{3\lambda A},$$

iar soluția în domeniul imagine din relația (23) se transformă în:

$$\Theta = \left(\frac{1}{p\sqrt{p}} \cdot \frac{R_p I^2 k}{2\lambda A} + \frac{\Theta}{\sqrt{p}} \cdot \frac{R_p \alpha_R I^2 k}{3\lambda A}\right) e^{-\frac{\sqrt{p}}{k} x}. \tag{27}$$

Pentru $x = 0$ rezultă

$$\Theta_{x=0} = \frac{R_p I^2 k}{2\lambda A} \cdot \frac{1}{p\left(\sqrt{p} - \frac{R_p \alpha_R I^2 k}{3\lambda A}\right)} \tag{28}$$

sau cu notațiile din text pentru b și c se obține:

$$\Theta_{x=0} = b \frac{1}{p(\sqrt{p} - c)}. \tag{29}$$

Se calculează

$$\mathfrak{L}^{-1} \frac{1}{p(\sqrt{p} - c)} = \mathfrak{L}^{-1}\left(\frac{1}{p} \cdot \frac{\sqrt{p} + c}{p - c^2}\right) =$$

$$= \underbrace{\mathfrak{L}^{-1} \frac{1}{\sqrt{p}(p - c^2)}}_{F_A(t)} + \underbrace{\mathfrak{L}^{-1} \frac{c}{p(p - c^2)}}_{F_B(t)} = F_A(t) + F_B(t) \tag{30}$$

Dacă se notează:

$$f_1(p) = \frac{1}{\sqrt{p}}\,;\ f_2(p) = \frac{1}{p - c^2}\,;$$

se poate aplica teorema înfășurării pentru a se găsi originalul produsului $f_1(p)$, $f_2(p)$ și anume din tabele se obține [7]

$$F_1(t) = \mathfrak{L}^{-1} \frac{1}{\sqrt{p}} = \frac{1}{\sqrt{\pi t}}\,;$$

$$F_2(t) = \mathfrak{L}^{-1} \frac{1}{p - c^2} = e^{c^2 t}$$

și în consecință

$$F_A(t) = \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\pi\tau}} e^{c^2(t-\tau)}\, d\tau = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{c^2 t} \int_0^t \frac{e^{-c^2\tau}}{\sqrt{\tau}}\, d\tau,$$

cu schimbarea de variabilă $u^2 = c^2\tau$ se obține $2\,udu = c^2 d\tau$ și deci

$$F_A(t) = \frac{e^{c^2 t}}{c} \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{c\sqrt{t}} e^{-u^2}\, du = \frac{e^{c^2 t}}{c} \Phi\left(c\sqrt{t}\right). \tag{31}$$

În continuare în tabele [7] se găseşte:

$$F_b(t) = \mathfrak{L}^{-1}\frac{c}{p\,(p-c^2)} = \frac{1}{c}(e^{-c^2t} - 1). \qquad (32)$$

Funcţia în domeniul original rezultă

$$\theta_{x=0} = b\,[F_A(t) + F_B(t)], \qquad (33)$$

de unde prin transformări simple se ajunge la expresia (18)

ANEXA 4.

Deducerea relaţiei (19). Pentru $i = \hat{I}\sin\omega t$, relaţia (13), în domeniul original, ia forma:

$$\left(\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)_{x=0} = -\frac{R\,\hat{I}^2}{2\lambda A}\cdot\frac{1-\cos 2\,\omega t}{2},$$

iar în domeinul imagine rezultă:

$$\left(\frac{\partial\Theta}{\partial x}\right)_{x=0} = -\frac{R\hat{I}^2}{4\lambda A}\left(\frac{1}{p} - \frac{p}{p^2+4\omega^2}\right). \qquad (34)$$

Astfel, ecuaţia (34) împreună cu ecuaţia (24) conduce la expresia constantei A_2:

$$A_2 = \frac{R\hat{I}^2 k}{4\lambda A}\left[\frac{1}{p\sqrt{p}} - \frac{p}{\sqrt{p}(p^2+4\omega^2)}\right]. \qquad (35)$$

Soluţia în domeniul imagine ia forma:

$$\Theta = \frac{R\hat{I}^2 k}{4\lambda A}\left[\frac{1}{p\sqrt{p}}e^{-\frac{\sqrt{p}}{k}x} - \frac{p}{(p^2+4\omega^2)}\cdot\frac{1}{\sqrt{p}}e^{-\frac{\sqrt{p}}{k}x}\right],$$

sau

$$\Theta = \frac{R\hat{I}^2 k}{4\lambda A}\left[f_0(p) - f_1(p)\cdot f_2(p)\right] \qquad (36)$$

cu notaţiile funcţiilor din domeniul imagine:

$$f_0(p) = \frac{1}{p\sqrt{p}}e^{-\frac{\sqrt{p}}{k}x};$$

$$f_1(p) = \frac{p}{p^2+4\omega^2};$$

$$f_2(p) = \frac{1}{\sqrt{p}}e^{-\frac{\sqrt{p}}{k}x}.$$

Pentru aceste funcţii se cunosc [7] transformările:

$$\mathfrak{L}^{-1}f_0(p) = \frac{2\,te^{-\frac{x^2}{4k^2t}}}{\sqrt{\pi t}} - \frac{x}{k}\left[1 - \Phi\left(\frac{x}{2k\sqrt{t}}\right)\right];$$

$$\mathfrak{L}^{-1}f_1(p) = \cos 2\,\omega t$$

$$\mathfrak{L}^{-1}f_2(p) = \frac{1}{\sqrt{\pi t}}e^{-\frac{x^2}{4k^2t}}.$$

Cu ajutorul teoremei Borel se calculează:

$$\mathfrak{L}^{-1}\{f_1(p)\cdot f_2(p)\} = \int_0^t \cos 2\omega(t-\tau)\frac{1}{\sqrt{\pi\tau}}e^{-\frac{x^2}{4k^2\tau}}\cdot d\tau.$$

Astfel se poate scrie soluţia în domeniul original corespunzătoare relaţiei (36):

$$\theta = \frac{R\hat{I}^2 k}{4\lambda A}\left\{\frac{2\,te^{-\frac{x^2}{4k^2t}}}{\sqrt{\pi t}} - \frac{x}{k}\left[1 - \Phi\left(\frac{x}{2k\sqrt{t}}\right)\right]\right\} - \frac{R\hat{I}^2 k}{4\lambda A}\int_0^t \cos 2\,\omega(t-\tau)\frac{1}{\sqrt{\pi\tau}}e^{-\frac{x^2}{4k^2\tau}}\cdot d\tau. \qquad (37)$$

Interesează încălzirea pentru suprafaţa frontală a contactului, adică pentru $x = 0$:

$$\theta_{x=0} = \frac{R\hat{I}^2 k}{2\lambda A\sqrt{\pi}}\sqrt{t} - \frac{R\hat{I}^2 k}{4\lambda A\sqrt{\pi}}\int_0^t \cos 2\omega(t-\tau)\cdot\tau^{-\frac{1}{2}}\cdot d\tau$$

sau dacă se pune $k = \sqrt{\frac{\lambda}{c_1}}$ şi se dezvoltă funcţia trigonometrică $\cos 2\omega(t-\tau)$ se obţine:

$$\theta_{x=0} = \frac{R\hat{I}^2}{2A\sqrt{\pi\lambda c_1}}\sqrt{t} - \frac{R\hat{I}^2}{4A\sqrt{\pi\lambda c_1}}\left[\cos 2\omega t\int_0^t \cos\tau\cdot\tau^{-\frac{1}{2}}d\tau + \sin 2\omega t\int_0^t \sin 2\omega\,\tau\cdot\tau^{-\frac{1}{2}}\,d\tau\right]. \qquad (38)$$

Pentru a aduce relaţia (38) la forma din relaţia (19) se observă că $\omega = 2\pi f$ şi se face schimbarea de variabilă $2\omega\tau = u$.

Bibliografie

[1] *Kesselring, F.* Theoretische Grundlagen zur Berechnung elektrischer Schaltgeräte. Berlin, Walter de Gruyter, 1968.

[2] *Holm, R.* Electric Contacts, Ed. IV. Berlin, Springer, Verlag, 1967.

[3] *Franken, H.* Schütze und Schützensteuerungen, Ed. II. Berlin, Springer Verlag, 1967.

[4] *Hortopan, G.* Aparate electrice. Bucureşti. Editura didactică şi pedagogică, 1967.

[5] *Jahnke-Emde-Lösch.* Tafeln höherer Functionen. Stuttgart, Teubner, 1960.

[6] *Wagner, K. W.* Operatorenrechnung und Laplacesche Transformation. Leipzig J. A. Barth, 1950.

[7] *Doetsch, G.* Anleitung zum praktischen Gebrauch der. Laplace—Transformation München, R. Oldenbourg, 1961

Intrat în redacţie la 15 XI 1968

Aspectul unei posibilităţi de a determina încălzirea conductoarelor la curenţi intenşi

MIHAIL PESIÇI* — Bucureşti

CZ 621.315.5.017.7.001.24

Conductoarele electrice sînt parcurse fie de curenţi de ordinul de mărime al curentului nominal, cu durată permanentă, fie de supracurenţi sau de curenţi de scurtcircuit cu o durată relativ lungă sau foarte scurtă. După cum este cunoscut, datorită rezistenţei conductorului, intervin pierderile Joule care se manifestă prin încălzirea conductorului. Determinarea încălzirii conductorului la trecerea curentului nominal, pînă la stabilizarea încălzirii, este o problemă cunoscută. De asemenea, încălzirea unui conductor omogen, la un curent de scurtcircuit de foarte scurtă durată, poate fi dedusă, fără dificultate, dacă se consideră ipoteza, în general admisă, că cedarea de căldură către mediul înconjurător este foarte mică şi poate fi neglijată [1], [2]. În domeniul supracurenţilor, unde încălzirea conductorului este condiţionată de predominanţă, fie a răcirii, fie a creşterii rezistenţei, determinarea încălzirii în timp prezintă unele dificultăţi. În procesul de încălzire al conductorului, intervine cedarea de căldură către mediu prin conductibilitate, convecţie şi radiaţie. După intensitatea încălzirii natura cedării de căldură poate varia, astfel încît stabilirea unui coeficient de cedare real care să poată fi prins într-una din relaţiile încălzirii, nu este uşoară.

În cazurile generale pentru rezolvări practice se poate considera un coeficient global de cedare a căldurii. Pentru astfel de cazuri s-a căutat o posibilitate de a determina încălzirea unui conductor supus unor supracurenţi. Rüdenberg arată [7] că în cazul uzual al unui conductor de rezistenţă r cuprins într-un circuit cu rezistenţa R şi inductanţă L alimentat în curent alternativ cu tensiunea U, curentul care se dezvoltă, este determinat de expresia cunoscută :

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R + r)^2 + (L\omega)^2}}. \qquad (1)$$

Evoluţia încălzirii este condiţionată de raportul valorilor rezistenţelor conductorului considerat şi al circuitului situat în amonte pînă la sursă. Întrucît pentru cazurile cele mai frecvente rezistenţa r (a conductorului) este mult mai mică decît rezistenţa R (a circuitului), influenţa lui r poate fi neglijată în termenul $(R + r)$. Ca urmare, se arată că încălzirea θ se deduce din relaţia bilanţului termic :

$$cV\frac{d\theta}{dt} + 3A_t\ \theta = I^2 r(1 + \alpha\theta); \qquad (2)$$

a cărei soluţie este :

$$\theta = \frac{H}{1 - \alpha H}\left[1 - \exp.\left(-\frac{1 - \alpha H}{H}\right)Bt\right]. \qquad (3)$$

De asemenea, în lucrarea sa [1] A. Avramescu, arată că variaţia temperaturii este soluţionată prin rezolvarea ecuaţiei diferenţiale :

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{\alpha P}{\gamma c F}\theta - i^2\frac{\rho}{\gamma c} = 0,$$

în care, diferit de ipotezele obişnuite, se consideră că $\frac{\rho}{\gamma c}$ variază liniar cu temperatura. Se menţionează că un calcul exact al acestor mărimi este redat într-o altă lucrare [2].

Într-o variantă a unui calcul de aproximaţie cu ecuaţia diferenţială simplă :

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{\theta}{T_1} = A(1 + \varepsilon\theta),$$

în care :

$$A = i^2\frac{\rho}{\gamma c}\ ;\ T_1 = \gamma\frac{cF}{\alpha P}\ \text{şi}\ AT_1 = \Theta,$$

autorul ajunge la soluţia asemănătoare relaţiei (3) :

$$\theta = \frac{\Theta}{1 - \varepsilon\Theta}[1 - \exp.(-1 + \varepsilon\Theta)\tau_1],$$

în care s-a păstrat simbolizarea din lucrarea originală.

Reluînd relaţia (2), trebuie menţionat că I din această relaţie reprezintă valoarea eficace, *constantă* a curentului de suprasarcină sau de scurtcircuit. Desigur că acest curent poate fi reprezentat — în cazul variaţiei lui în timp — şi de valoarea lui echivalentă pe durata t.

În această situaţie pătratul curentului poate fi reprezentat de relaţia cunoscută :

$$I_{ef}^2 = \frac{1}{t}\int_0^t i^2 dt,$$

* Ing. *M. Pesici* este şef de laborator la ICPE.

iar pătratul densității de curent prin :

$$J^2 = \frac{I_{ef}^2}{s^2} = \frac{1}{ts^2}\int_0^t i^2\,dt, \qquad (4)$$

s fiind secțiunea conductorului.

Rezolvînd relația (2), Rüdenberg [7] extrage trei mărimi : H, B și T legate prin următoarea relație :

$$H = BT \qquad (5)$$

și care sînt definite astfel :

H reprezintă intensitatea de încălzire a procesului termic cu observația că această intensitate de încălzire corespunde unei încălziri stabilizate fără creșterea rezistenței, °C ;

B — Viteza de încălzire a conductorului, $°Cs^{-1}$,

T — constanta de timp pentru încălzirea conductorului, s, date de relațiile :

$$B = \frac{\rho_0}{c} J^2; \qquad (6)$$

$$T = \frac{cV}{\xi A_l}; \qquad (7)$$

$$H = \frac{d}{4}\frac{\rho_0}{\xi} J^2, \qquad (8)$$

în care :

ρ_0 este rezistivitatea conductorului la 0°C, $\frac{\Omega cm^2}{cm}$

J — densitatea de curent $\frac{A}{cm^2}$;

c — căldura specifică a conductorului $\frac{Ws}{°Ccm^2}$;

α — coeficientul de temperatură al rezistenței, $°C^{-1}$;

d — diametrul conductorului, cm ;

ξ — coeficientul de cedare globală a căldurii pe suprafața laterală a conductorului, $\frac{W}{°Ccm^2}$;

A_l — suprafața laterală a conductorului considerată pe lungimea l și diametrul d, cm^2 ;

V — volumul conductorului considerat pe lungimea l și secțiunea s, cm^3.

De remarcat că, în expresia (3),

$$\frac{H}{(1-\alpha H)B} = \frac{T}{1-\alpha H} = T_e,$$

reprezintă constanta de timp exponențială iar $\frac{H}{1-\alpha H}$, reprezintă încălzirea finală θ_f. Cunoscînd deci valoarea constantă a curentului de suprasarcină sau de scurtcircuit, sau valoarea lui echivalentă pe durata t, ca și coeficientul ξ de cedare globală de căldură (pe suprafața laterală), se poate determina încălzirea conductorului utilizînd relația (3).

Stabilirea valorii curentului eficace în timpul unei suprasarcini sau a unui scurtcircuit nu prezintă în general dificultăți. Determinarea însă a unui coeficient global de cedare a căldurii, nu poate fi efectuată decît pe bază experimentală. În acest scop s-au efectuat încercări asupra unui conductor din cupru, neizolat, cu diametrul de 8 mm (secțiune : 0,5 cm^2) și lungimea de 1 m. Încercările au fost efectuate la curenți în valorile eficace și pe durata menționată în tabela 1. Tot în această tabelă se arată încălzirile obținute, temperatura ambiantă și valoarea $\left(\frac{A}{cm^2}\right)^2 s$ corespunzătoare fiecărei încercări. Se menționează că conductorul a fost încercat în aer în poziție orizontală.

Tabela 1

I_{ef}, A	t, s	θ, °C	θ_{amb}, °C	J^2t, $\left(\frac{A}{cm^2}\right)^2 s$	ξ, $\frac{W}{°cm^2}$
1032	60	150	22	$25{,}6.10^7$	12,5
1490	60	435	22	$53{,}2.10^7$	23
1525	67,5	555	24	$62{,}8.10^7$	31,5
1940	30,5	383	22	$45{,}9.10^7$	18
1990	24,5	297	22	$38{,}7.10^7$	13,8
1520	82,5	716	24	$76{,}2.10^7$	51

Din valorile încălzirilor obținute din încercări, și utilizînd relația (3) s-a dedus coeficientul de cedare globală a căldurii ξ. Valoarea acestui coeficient variază cu integrala pătratului densității de curent în raport cu timpul pe durata scurtcircuitului sau a suprasarcinii. În figura 1 se arată variația coeficientului ξ în funcție de valoarea $\left(\frac{A}{cm^2}\right)^2 s$. Se remarcă creșterea importantă a cedării de căldură pe suprafața laterală, în raport cu cantitatea de căldură dezvoltată în conductor. Se precizează că pentru determinarea pătratului densității de curent s-a recurs la relația (4) sau s-a aplicat pe oscilograma rezultată din încercări, formula lui Simpson, pentru obținerea unei valori echivalente curentului constant pe durata încercării.

În aplicarea acestei formule și a cunoscutului procedeu, s-au folosit valorile eficace ale curenților asimetrici după relația :

$$I_{asim} = \sqrt{I_{sim}^2 + I_{c.\,aper.}^2}$$

în care :

I_{sim} este valoarea eficace a componentei simetrice (alternative) a curentului la timpul t considerat ;

$I_{c.aper.}$ — valoarea componentei aperiodice a curentului la acelaşi timp t.

Ca verificare, s-au efectuat cîteva încercări în condiţii egale asupra aceluiaşi conductor supus unor curenţi cu valori cuprinse între 1490 A şi 2000 A, măsurîndu-se curentul, durata încercări şi încălzirea conductorului. S-au efectuat calculele aplicînd relaţiile (5), (6), (7) şi (8), în care valoarea coeficientului de cedare globală a căldurii a fost luată din curba expusă în figura 1. Rezultatele acestor încercări sînt expuse în tabela 2.

Se poate constata că valorile încălzirilor rezultate din calcul au diferenţe acceptabile faţă de valorile încălzirilor obişnuite prin măsurare în cursul încercărilor. Valorile acestea ale încălzirilor conductorului în funcţie de J^2t sînt arătate şi în diagrama din figura 2.

Se poate afirma că aplicarea valorilor coeficientului de cedare globală a căldurii, din curba expusă în figura 1, poate da rezultate satisfăcătoare pentru determinarea încălzirii unui conductor din Cu, monofilar, nevopsit cu aspect de oxidare normală. Determinarea încălzirii poate fi simplificată dacă se utilizează curbele din figura 3. În această diagramă sînt prezentate curbele variaţiei în timp a încălzirii în raport cu relaţia (3). Familia de curbe a fost obţinută pentru încălzirile prezentate în funcţie de produsul Bt. Curbele au parametrul H.

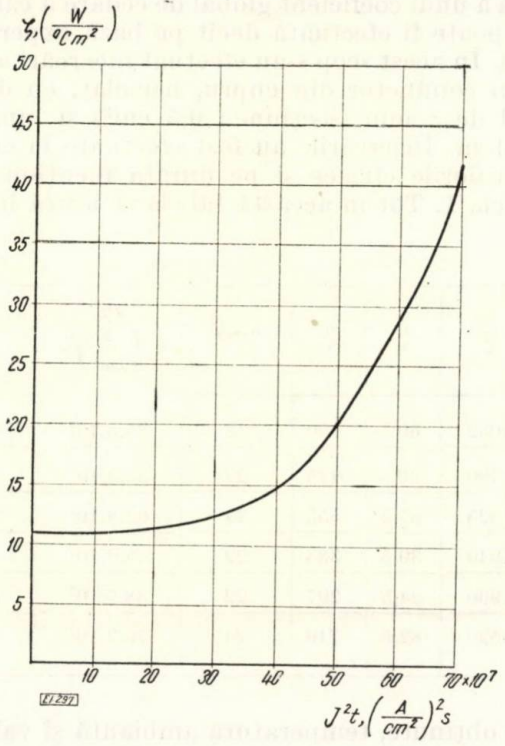


Fig. 1. Variaţia coeficientului τ în funcţie de J^2t.

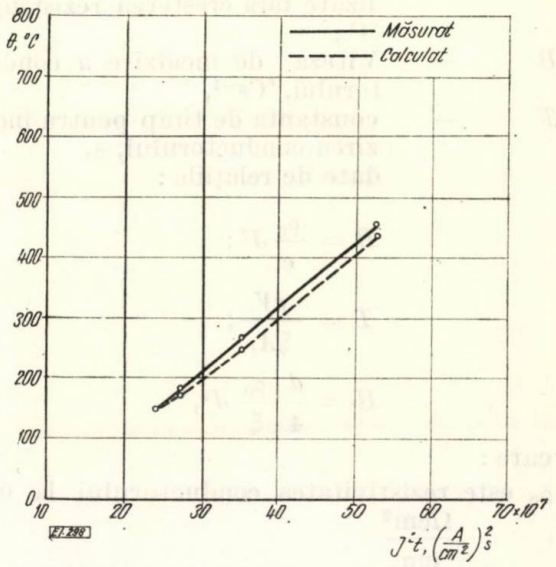


Fig. 2. Curbele încălzirilor θ obţinute din calcul şi din experimentări.

Se observă că viteza de încălzire este aceeaşi la început pentru familia de curbe. Exemplele pentru determinarea, pe curbele din figura 3, a încălzirii au fost luate din tabela 2, pentru încercările 1 şi 3.

Determinarea încălzirii pe curbele $\theta = f(Bt)$ este cu atît mai exactă cu cît trasarea acestor curbe este mai îngrijită, pentru domeniul considerat,

Coeficientul ζ pentru cedarea globală de căldură în valorile determinate în prezenta expu-

Tabela 2

I_{ef}, A	t, s	J^2t, $\left(\frac{A}{cm^2}\right)^2 s$	θ_{amb}, °C	ξ, $\frac{W}{°C\,m^2}$	Bt, °C	H, °C	$\theta_{calculat}$, °C	$\theta_{măsurat}$, °C	Diferenţa relativă, %
1490	60	$53{,}1.10^7$	23	22,9	265,2	1382	438	453	−3,3
1500	30	27.10^7	23	12,8	134,7	2420	174	180	−1,66
1684	31	$35{,}3.10^7$	22	13,5	173	2900	246	268	−7,45
2000	15	$24{,}1.10^7$	22	11	119,6	5000	152	150	+1,3

nere, nu poate fi aplicat universal, indiferent de natura și starea suprafeței conductorului și mai cu seamă pentru domenii de încălzire intensă. La încălziri relativ reduse ale unui conductor, se iau în considerare, ca pondere, pierderile de căldură prin convecție.

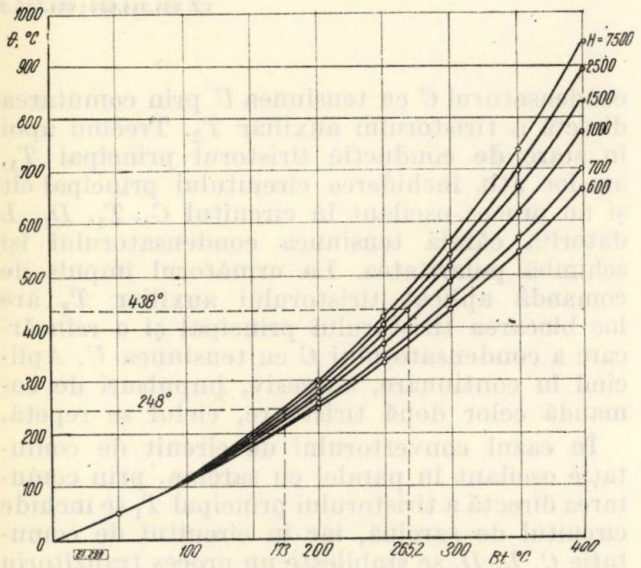


Fig. 3. Curbele variației încălzirii θ în timp, conform relației (3). Curbele au parametrul H.

La încălziri ridicate cedarea de căldură prin convecție este foarte redusă din cauza densității foarte scăzute a aerului la suprafața conductorului. În această situație, cea mai mare parte a căldurii este cedată prin radiație, iar această cedare este, după cum se știe, proporțională cu puterea a patra a temperaturii absolute conform relației Ștefan-Boltzmann [3], [7]. Delimitarea cedării de căldură prin convecție față de aceea prin radiație nu poate fi precizată starea suprafeței conductorului avînd un rol preponderent în efectul cedării de căldură prin radiație.

Relația (3) poate fi aplicată și pentru cazul încălzirii unui conductor neizolat la trecerea curentului nominal, dacă se cunoaște coeficientul de cedare globală a căldurii. În această situație cea mai mare parte a pierderii de căldură se face prin convecție. Considerînd cazul conductorului, menționat, din cupru cu diametrul de ∅ 8 mm, neizolat și nevopsit, parcurs de un curent de 150 A, cu o cedare globală de căldură :

$$\zeta = 1{,}15 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\mathrm{W}}{^{\circ}\mathrm{Ccm}^2}\right],$$

pe o durată de trecere a curentului de 200 s au reeșit din calcul următoarele valori :

$$J^2 = 9 \cdot 10^4 \left(\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{cm}^2}\right)^2; \qquad B = 4{,}5 \cdot 10^{-2}\ ^{\circ}\mathrm{Cs}^{-1};$$

$$Bt = 9^{\circ}\mathrm{C}; \quad H = 26{,}9\ ^{\circ}\mathrm{C}; \quad T = 600\ \mathrm{s}; \quad T_e = 677\ \mathrm{s}$$

și încălzirea finală : $\theta_f = \dfrac{H}{1 - \alpha H} = 30{,}3^{\circ}\mathrm{C}.$

Încălzirea obținută din aplicarea relației (3) pe durata de 200 s a fost de 7,8°C. În aceste calcule s-au folosit valorile uzuale pentru rezistența și căldura specifică a cuprului. Valoarea încălzirii finale θ_f de 30,3°C este comparabilă cu încălzirea staționară de 30°C indicată în normele DIN 43671—1964 pentru conductorul considerat, la o temperatură ambiantă de + 35°C și un curent de durată de 150A. Restul valorilor reieșite din calcul coincid cu valorile obținute din aplicarea relațiilor cunoscute pentru determinarea încălzirii stabilizate.

De menționat că pentru cazurile cînd încălzirea conductorului este preponderentă față de cedarea de căldură, deci pentru intensități de încălzire H mai mari decît 235°C, expresia : $\dfrac{H}{1 - \alpha H}$ își schimbă semnul ca și exponentul relației (3), iar curba $\theta = f\ (Bt)$ ia alura curbelor expuse în figura 3.

Concluzii

Determinarea încălzirii unui conductor parcurs de un curent de suprasarcină sau de scurtcircuit, poate fi obținută prin calcul dacă se cunoaște cedarea globală de căldură a conductorului. Pentru anumite condiții locale coeficientul de cedare se poate stabili experimental.

Este necesar ca din regimul tranzitoriu al curentului să se stabilească valoarea echivalentă a curentului eficace pe durata scurtcircuitului sau suprasarcinii.

Bibliografie

[1] *Avrameescu, A.* : Beiträge zur Erwärmungsberechnung elektrischer Leiter. Habil — Diss. TH Dresden, 1943 și buletin IRE 11, 1943, 3/4, p. 301—412.

[2] *Avramescu, A.* Über die Berechnung der Kurzschlusserwärmung. În : Elektrotechn. — Z 59, 1938, p. 980.

[3] *Avramescu, A.* și *Mastero, S.* Încălzirea la scurtcircuite a conductorilor de aluminiu. În : Studii și Cercetări de Energetică, **tom. III, 1953**, p. 153.

[4] *Avramescu, A.* Contribuții la calculul încălzirii tranzitorii a siguranțelor fuzibile. În : Comunicarea Academiei Republicii Socialiste Române, 5, 1955, nr. 4, p. 697—708.

[5] *Avramescu, A.* Posibilitățile calculului de dimensionare termică a siguranțelor fuzibile. În : Electrotehnica 1, nr. 6, 1953, p. 23—33.

[6] *Hortopan, Gh.* Aparate electrice. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1967.

[7] *Rüdenberg, R.* Fenomene tranzitorii în sisteme electroenergetice. București, Editura tehnică, 1959.

[8] *Pesici, M.* Solicitarea termică a transformatorului de curent la scurtcircuit. În : Electrotehnica **15**, nr. 9, 1967, p. 209—213.

[9] *Walter , Fritz.* Die Grundlagen der elektrischen Ofenheizung. Leipzig, Akadem. V. — Ges. Geest § Portig 1950.

Intrat în redacție la 29 VIII 1968

Ecuaţiile convertoarelor de curent continuu cu tiristoare cu circuit de comutaţie oscilant

IOAN MATLAC * — Braşov

CZ 621.314.632 ; 621.385.3

Deoarece tiristoarele nu pot fi comutate direct din starea de conducţie în starea de blocare prin comanda pe grilă, cu ajutorul lor nu se pot deschide circuitele de curent continuu şi nici cele de curent alternativ la un moment oarecare diferit de cel corespunzător trecerii „naturale" a curentului prin zero, decît dacă se utilizează circuite speciale, numite circuite de comutaţie. După natura elementelor circuitului de comutaţie deosebim convertoare de curent continuu-impuls cu circuit de comutaţie RC şi cu circuit de comutaţie oscilant LC.

Ecuaţiile convertoarelor de c.c. cu circuit de comutaţie RC fac obiectul lucrării [10]. În această lucrare se prezintă ecuaţiile convertoarelor de c.c. cu circuit de comutaţie oscilant.

1. Schemele convertoarelor cu circuit de comutaţie oscilant

Deosebim convertoare de c.c. cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu tiristorul principal (fig. 1, *a*) şi cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu sarcina (fig. 1, *b*).

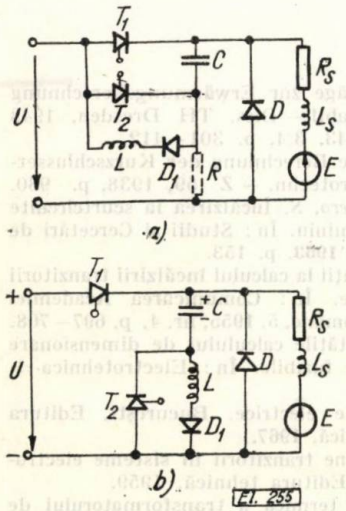


Fig. 1. Schemele convertoarelor de c.c.: *a* — cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu tiristorul principal; *b* — cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu sarcina.

Funcţionarea convertorului cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu tiristorul principal este următoarea: la început se încarcă condensatorul C cu tensiunea U prin comutarea directă a tiristorului auxiliar T_2. Trecînd apoi în stare de conducţie tiristorul principal T_1, are loc atît închiderea circuitului principal cît şi un proces oscilant în circuitul C, T_1, D_1, L datorită căreia tensiunea condensatorului îşi schimbă polaritatea. La următorul impuls de comandă aplicat tiristorului auxiliar T_2 are loc blocarea tiristorului principal şi o reîncărcare a condensatorului C cu tensiunea U. Aplicînd în continuare, succesiv, impulsuri de comandă celor două tiristoare, ciclul se repetă.

În cazul convertorului de circuit de comutaţie oscilant în paralel cu sarcina, prin comutarea directă a tiristorului principal T_1 se închide circuitul de sarcină, iar în circuitul de comutaţie C, L, D, se stabileşte un proces tranzitoriu care încetează în momentul trecerii curentului prin zero, condensatorul rămînînd încărcat cu polaritatea din figura 1, *b*; valoarea tensiunii condensatorului pentru cazul unui circuit oscilant fără pierderi este egală cu $2U$. Pentru blocarea tiristorului principal, se comută direct tiristorul auxiliar T_2. În continuare, prin aplicarea succesivă a impulsurilor de comandă celor două tiristoare, ciclul se repetă.

Blocarea tiristorului principlal la ambele scheme are loc numai dacă tensiunea aplicată lui, după trecerea în conducţie a tiristorului auxiliar T_2, rămîne negativă un timp mai mare decît timpul de revenire.

Dioda D legată în paralel cu sarcina are drept scop înlăturarea supratensiunii care apare la funcţionarea convertorului cu sarcină rezistiv-inductivă.

2. Ecuaţiile convertoarelor pentru sarcina rezistiv-inductivă

La scrierea ecuaţiilor se fac următoarele ipoteze: se neglijează căderea de tensiune pe ventilele aflate în stare de conducţie şi se consideră infinită rezistenţa lor în stare blocată; se consideră constanţi parametrii circuitului de sarcină şi ai circuitului de comutaţie; se presupune că tiristoarele comută brusc.

În circuitul de sarcină se consideră şi existenţa unei t.e.m. E constante.

Cu ipotezele menţionate, circuitele curentului de sarcină de-a lungul unei perioade T sînt reprezentate în figura 2.

* Ing. *I. Matlac* este şef de lucrări la Institutul politehnic-Braşov, catedra de electrotehnică.

Ecuaţia curentului de sarcină, în intervalul t_1 de conducţie a tiristorului principal este:

$$i_s R_s + L_s \frac{di_s}{dt} = U - E;\ i_{s(0)} = I_{s1};\ U_{c(0)} = U_{c1}. \tag{1}$$

În intervalul t_2, cuprins între momentul comutării directe a tiristorului auxiliar şi momentul trecerii în conducţie a diodei de

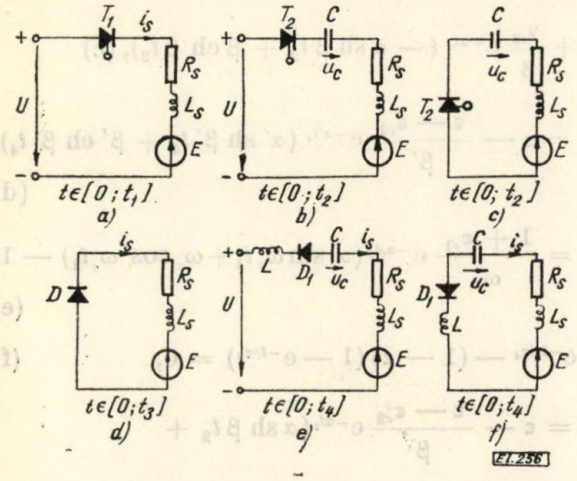


Fig. 2 Circuitele curentului de sarcină de-a lungul unei perioade T.

mers în gol, circuitul curentului de sarcină pentru convertorul cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu tiristorul principal este reprezentat în figura 2, *b*, iar pentru cel cu circuit de comutaţie în paralel cu sarcina, în figura 2, *c*. Circuitului din figura 2, *b* îi corespunde ecuaţia:

$$i_s R_s + L_s \frac{di_s}{dt} + \frac{1}{C}\int i_s\,dt = U - E;\quad I_{s(0)} = I_{s2},\quad U_{c(0)} = U_{02} \tag{2}$$

iar pentru circuitul din figura 2, *c* ecuaţia se obţine din (2) făcînd $U = 0$.

În intervalul t_3, în care conduce dioda de mers în gol, ecuaţia curentului de sarcină este (fig. 2, *d*):

$$i_s R_s + L_s \frac{di_s}{dt} = -E;\quad i_{s(0)} = I_{s3};\quad U_{c(0)} = U_{c3}. \tag{3}$$

Pentru intervalul t_4, în care atît tiristorul principal T_1, cît şi dioda de mers în gol D sînt blocate, circuitul curentului de sarcină corespunzător convertorului cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu tiristorul principal este reprezentat în figura 2, *c*, iar cel corespunzător convertorului cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu sarcina este reprezentat în figura 2, *f*. Ecuaţia curentului de sarcină, pentru circuitul din figura 2, *e* este:

$$i_s R_s + (L + L_s)\frac{di_s}{dt} + \frac{1}{C}\int i_s\,dt = U - E \qquad i_{s(0)} = 0 \qquad U_{c(0)} = U_{c4} \tag{4}$$

iar pentru circuitul din figura 2, *f*, rezultă din (4) făcînd $U = 0$.

Curentul prin condensator este egal cu curentul de sarcină în intervalele t_2 şi t_4; în intervalul t_3 este nul, iar în intervalul t_1 ecuaţia lui este:

$$i_c r_e + L\frac{di_c}{dt} + \frac{1}{C}\int i_c\,dt = U;\ U_{c(0)} = U_{c1}, \tag{5}$$

la convertorul cu circuit de comutaţie oscilant în paralel. Ecuaţia curentului i_c, în intervalul t_1, la convertorul cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu tiristorul principal rezultă din (5) pentru $U = 0$.

În ecuaţia (5) s-a notat cu r_e, rezistenţa echivalentă a circuitului de comutaţie.

Soluţiile ecuaţiilor (1)—(5) sînt:

$$i_s = \frac{U-E}{R_s}(1 - e^{-t/\tau_s}) + I_{s1}\,e^{-t/\tau_s} \qquad t\in[0;t_1], \tag{6}$$

$$i_s = \frac{U-E-U_{c2}}{\beta L_s}\,e^{\alpha t}\,\mathrm{sh}\,\beta t + \frac{I_{s2}}{\beta}\,e^{-\alpha t}(-\alpha\,\mathrm{sh}\,\beta t + \beta\,\mathrm{ch}\,\beta t) \qquad t\in[0;t_2], \tag{7}$$

$$i_s = I_{s3}\,e^{-t/\tau_s} - \frac{E}{R_s}(1 - e^{-t/\tau_s}) \qquad t\in[0;t_3], \tag{8}$$

$$i_s = \frac{U-E-U_{c4}}{\beta' L_s}\,e^{-\alpha' t}\,\mathrm{sh}\,\beta' t \qquad t\in[0;t_4], \tag{9}$$

$$i_c = \frac{U+U_{c1}}{\omega_c L}\,e^{-\alpha_c t}\sin\omega_c t \qquad t\in[0;t_1). \tag{10}$$

În expresiile (6)—(10):

$$\alpha = \frac{R_s}{2L_s};\quad \alpha' = \frac{R_s}{2(L+L_s)};\quad \alpha_c = \frac{r_e}{2L};$$

$$\beta = \sqrt{\alpha^2 - \frac{1}{L_s C}};\quad \beta' = \sqrt{\alpha'^2 = \frac{1}{(L+L_s)C}};\quad \omega_c = \sqrt{\frac{1}{LC} - \alpha_c^2}. \tag{11}$$

Cunoscîndu-se expresiile curentului se poate determina tensiunea condensatorului:

$$U_c = \frac{U + U_{c1}}{\omega_c} e^{\alpha_c t} (\alpha_c \sin \omega_c t + \omega_c \cos \omega_2 t) - U \quad t \in [0; t_1], \tag{12}$$

$$U_c = U - E - \frac{U - E - U_{c2}}{\beta} e^{-\alpha t} (\alpha \operatorname{sh} \beta t + \beta \operatorname{ch} \beta t) + \frac{I_{s2}}{\omega C} e^{-\alpha t} \operatorname{sh} \beta t \quad t \in [0; t_2], \tag{13}$$

$$U_c = U - E - \frac{U - E - U_{c4}}{\beta'} e^{-\alpha' t} (\alpha' \operatorname{sh} \beta' t + \beta' \operatorname{ch} \beta' t) \quad t \in [0; t_4]. \tag{14}$$

În intervalul t_3 tensiunea condensatorului este egală cu U la convertorul cu circuit de comutaţie LC în paralel cu tiristorul principal şi egală cu zero la cel cu circuit de comutaţie în paralel cu sarcina.

Introducînd mărimile relative $\nu_s = i_s/I_s$, unde $I_{s\infty} U/R_s$, $\varepsilon_c = U_c/U$ şi $\varepsilon = (U - E)/U$, expresiile (6) — (10) şi respectiv (12) — (14) se scriu:

$$\nu_s = (1 - e^{-t/\tau_s}) + \nu_{s1} e^{-t/\tau_s} \quad t \in [0; t_1], \tag{6'}$$

$$\nu_s = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{02}}{\beta \tau_s} e^{-\alpha t} \operatorname{sh} \beta t + \frac{\nu_{s2}}{\beta} e^{-\alpha t} (-\alpha \operatorname{sh} \beta t + \beta \operatorname{ch} \beta t) \quad t \in [0; t_2], \tag{7'}$$

$$\nu_s = \nu_{s3} e^{-t/\tau_s} - (1 - \varepsilon)(1 - e^{-t/\tau_s}) \quad t \in [0; t_3], \tag{8'}$$

$$\nu = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{c4}}{\beta' \tau_s} e^{-\alpha' t} \operatorname{sh} \beta' t \quad t \in [0; t_4], \tag{9'}$$

$$\nu_c = \frac{R_s (1 + \varepsilon_{c1})}{\omega_c L} e^{-\alpha c t} \sin \omega_c t \quad t \in [0; t_1], \tag{10'}$$

$$\varepsilon_c = \frac{1 + \varepsilon_{c1}}{\omega_c} e^{-\alpha c t} (\alpha_c \sin \omega_c t + \omega_c \cos \omega_c t) - 1 \quad t \in [0; t_1]. \tag{12'}$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon - \frac{\varepsilon - \varepsilon_{c_2}}{\beta} e^{-\alpha t} (\alpha \operatorname{sh} \beta t + \beta \operatorname{ch} \beta t) + \frac{\nu_{s2}}{\beta R_s C} e^{-\alpha t} \operatorname{sh} \beta t \quad t \in [0; t_2), \tag{13'}$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon - \frac{\varepsilon - \varepsilon_{c4}}{\beta'} e^{-\alpha' t} (\alpha' \operatorname{sh} \beta' t + \beta' \operatorname{ch} \beta' t) \quad \varepsilon t \in [0; t_4]. \tag{14}$$

În aceste expresii condiţiile iniţiale ε_{c3}, ε_{c4} şi intervalul de timp t_1 sînt cunoscute. Condiţiile iniţiale necunoscute ν_{s1}, ν_{s2}, ν_{s3} ν_{c1}, ν_{c2} şi intervalele de timp t_2, t_3, t_4 se determină, în cazul funcţionării convertorului în regim permanent, din sistemul de ecuaţii:

$$\nu_{s1} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{c4}}{\beta' \tau_s} e^{-\alpha' t_4} \operatorname{sh} \beta' t_4; \text{ (a)}$$

$$\nu_{s2} = (1 - e^{-t_1/\tau_s}) + \nu_{s1} e^{-t_1/\tau_s}; \text{ (b)} \tag{15}$$

$$\nu_{s3} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{c2}}{\beta \tau_s} e^{-\alpha t_2} \operatorname{sh} \beta t_2 + \frac{\nu_{s2}}{\beta} e^{-\alpha t_2} (-\alpha \operatorname{sh} \beta t_2 + \beta \operatorname{ch} \beta t_2), \text{ (c)}$$

$$\varepsilon_{c1} = \varepsilon - \frac{\varepsilon - \varepsilon_{c4}}{\beta'} e^{-\alpha' t_4} (\alpha' \operatorname{sh} \beta' t_4 + \beta' \operatorname{ch} \beta' t_4), \text{ (d)}$$

$$\varepsilon_{c2} = \frac{1 + \varepsilon_{c1}}{\omega_c} e^{-\alpha c t_1} (\alpha_c \sin \omega_c t_1 + \omega_c \cos \omega_c t_1) - 1, \text{ (e)}$$

$$\nu_{s3} e^{-t_3/\tau_s} - (1 - \varepsilon)(1 - e^{-t/\tau_s}) = 0, \text{ (f)}$$

$$\varepsilon_{c3} = \varepsilon - \frac{\varepsilon - \varepsilon_{c2}}{\beta} e^{-\alpha t_2} (\alpha \operatorname{sh} \beta t_2 + \beta \operatorname{ch} \beta t_2) + \frac{\nu_{s2}}{\beta R_s C} e^{-\alpha t_2} \operatorname{sh} \beta t_2 + \frac{\nu_{s2}}{\beta R_s C} e^{-\alpha t_2} \operatorname{sh} \beta t_2, \text{ (g)}$$

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = T \text{ (h)}$$

La convertorul cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu tiristorul principal, $\varepsilon_{c3} = \varepsilon_{c4} = 1$, iar la cel cu circuit oscilant în paralel cu sarcina, $\varepsilon_{c3} = \varepsilon_{c4} = 0$.

Dacă în sistemul (15) rezultă $t_4 \neq 0$ convertorul lucrează în regim de curent intermitent permanent, iar dacă $t_4 = 0$ în regim de curent neîntrerupt permanent.

În scopul verificării soluţiilor ecuaţiilor s-a oscilografiat curentul de sarcină şi tensiunea condensatorului, la cele două tipuri de convertoare (fig. 3).

După cum rezultă din oscilogramele ridicate, expresiile tensiunii condensatorului se verifică la frecvenţe de comutare mai mari de 100 Hz. Ele rămîn valabile şi pentru frecvenţe de comutare mai mici de 100 Hz, dacă se introduc în schemele convertoarelor elemente care să înlăture descărcarea condensatorului, în intervalul de conducţie a tiristorului principal. La convertoarele cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu tiristorul principal, descărcarea condensatorului poate fi înlăturată prin introducerea unei rezistenţe R (fig. 1, *a*) [9]; la cele cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu sarcina, prin înlocuirea diodei D_1 (fig. 1, *b*)

cu un tiristor. Tiristorul introdus în locul diodei se comută direct înaintea trecerii în conducţie a tiristorului auxiliar, cu un interval de

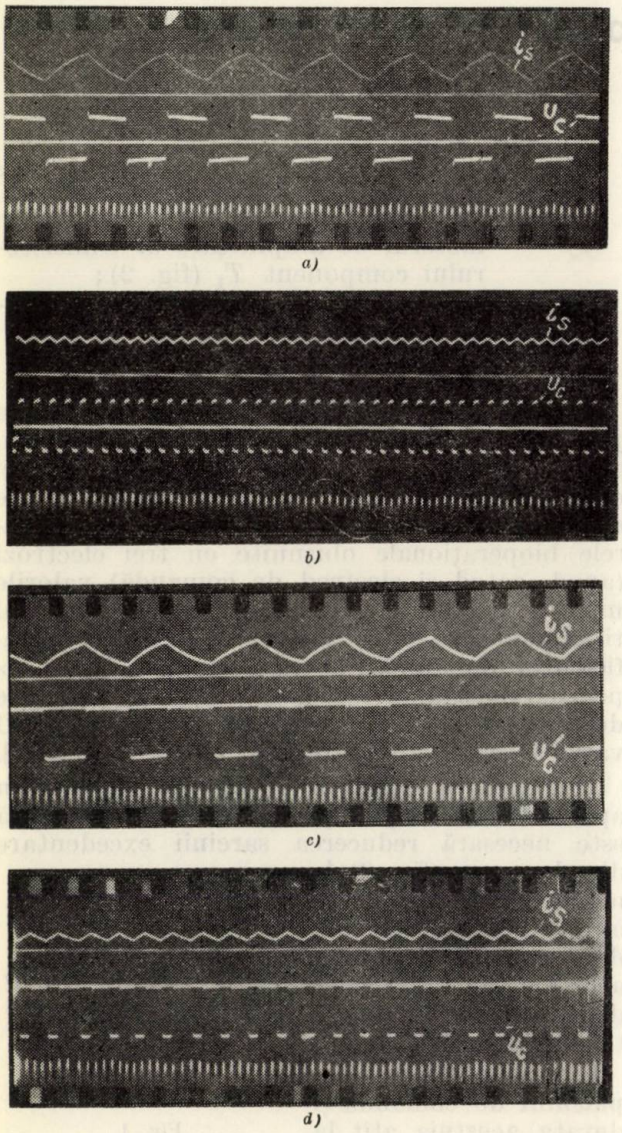


Fig. 3 Oscilograme ale curentului de sarcină şi ale tensiunii condensatorului :

a — la convertorul cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu tiristorul principal ; *c* *d* — la convertorul cu circuit de comutaţie oscilant în paralel cu sarcina. $U = 60$ V ; $R_S = 12$; $L_S = 0{,}112$ H ; $C = 2\mu$F

timp cu puţin mai mare decît $T/2$, unde T este perioada de oscilaţie a circuitului de comutaţie.

3. Concluzii

— Convertoarele de c.c. — impuls cu circuit de comutaţie oscilant se utilizează la frecvenţă de comutare ridicată, deoarece pierderile în elementele circuitului de comutaţie sînt mai mici decît la cele cu circuit de comutaţie R.C.

— La scrierea ecuaţiilor căderea de tensiune pe ventilele aflate în stare de conducţie poate fi neglijată numai la tensiuni relativ mari ($U > 50$).

— Rezistenţa ventilelor în stare blocată poate fi considerată infinită, numai la frecvenţe de comutare ridicată ($f > 100$ Hz).

— Ecuaţiile scrise cu considerarea rezistenţei infinite a ventilelor în stare blocată, sînt valabile şi pentru frecvenţă de comutare joasă ($f < 100$ Hz), dacă se introduc în schemă elemente care să înlăture descărcarea condensatorului în intervalul de conducţie a tiristorului principal.

Bibliografie

[1] *Gutzwiller, F.W.* Silicon Controlled Rectifiers Manual. G.E.C. New York, 1964.

[2] *Tişenko, M.H.* şi *Maşlichin G.V.* Dinistorî i tiristorî i ih primenenie v avtomatike, Moscova-Leningrad, Izd. Energhia, 1966.

[3] *Koşleva, C.* şi *Kubata, M.* Poluprovodnichi v preobrazovatelnoi tehnike, Moscova-Leningrad, Izd. Energhia, 1965.

[4] *Bunakov, V.P., Tasparov, R.T.* Poluprovodnikovîe reguleatorî napreajnenia v ciastoti electriceschih maşin, Moscova-Leningrad, Izd. Energhia, 1966.

[5] *Vărzaru, E.* Contactoare statice cu tiristoare. În : Electrotehnica **13**, nr. 8, 1965, p. 297—302.

[6] *Sandler, A.C.* ş.a. Inpulsnîe regulatorî napreajenia na tiristorah. În : Elektricestvo, nr. 7, 1966, p. 60—65.

[7] *Neumann, K.* şi *Koppelmann, F.* Kontaktloses Schalten mit steuerbaren Halbleiterelementen in Niederspanungsbereich. În : E.T.Z. — A. **86**, nr. 17, p. 552—557.

[8] *Herman, J.* şi *Sulc, P.* Spínání stejnosmerného proudu pomoci tyristorî. În : Elektrotechnicky obzor **55**, nr. 1, 1966, p. 240—244.

[9] *Abraham, L.* Der Gleichstrompuls wandler (elektronischen Gleichstromsteller) und seine digitale Steuerung. Teză de doctorat T.U. Berlin, 1967.

[10] *Matlac, I.* Ecuaţiile convertoarelor de c.c.-impuls cu circuit de comutaţie R.C. Lucrare susţinută la sesiunea de comunicări a I.P. Timişoara, mai 1968.

Intrat în redacţie la 20.XI.1968

PENTRU TÎNĂRUL INGINER

Contactoare statice de curent continuu cu tiristoare bioperaţionale

ANDREI SILARD * — Bucureşti

CZ 621.314.63 : 621.316.57

Tiristoarele bioperaţionale sau GTO** (gate turn-off sau cu stingere pe electrodul de comandă) sînt deosebit de adecvate pentru comutarea curentului continuu. Întreruperea curentului anodic prin sarcină cu ajutorul unui impuls negativ de o durată redusă aplicat pe electrodul de comandă al tiristorului reclamă mai puţină energie şi are loc mai rapid decît stingerea tiristoarelor obişnuite prin efectul inversării polarităţii tensiunii anodice. Inconvenientul principal al tiristoarelor GTO constă în puterea relativ redusă pe care o pot comuta. Iniţial tiristoarele GTO au fost fabricate pentru un curent nominal de 2 amperi, dar în ultimul timp această limitare impusă de proprietatea electrodului de comandă de a-şi pierde capacitatea de blocare, a fost depăşită [8].

Ca şi tiristoarele obişnuite, tiristoarele bioperaţionale se amorsează prin aplicarea unui impuls pozitiv pe electrodul de comandă, iar procesele tranzitorii ce au loc nu diferă practic la cele două tipuri de tiristoare [15]. Problemelor legate atît de procesele tranzitorii la amorsarea tiristoarelor, cît şi la stingerea acestora le sînt consacrate o serie de lucrări de specialitate [2], [10], [14], [15], [16].

Există o multitudine de lucrări, unele în literatura noastră de specialitate [12], [13] care abordează sub diverse aspecte problemele contactoarelor statice cu tiristoare obişnuite. Tratarea problemelor legate de contactoarele statice cu tiristoare bioperaţionale care se efectuează în acest articol, departe de a fi exhaustivă, încearcă şi o clasificare a circuitelor după criteriul polarităţii impulsurilor de comandă.

Parametrul principal al tiristorului bioperaţional este coeficientul de dezamorsare (stingere), definit prin relaţia [1], [2], [7], [10], [15]:

$$\varkappa = \frac{I'_G}{I_a} = \frac{\alpha_n + \alpha_p - 1}{\alpha_n} = \frac{\alpha_\Sigma - 1}{\alpha_n}, \qquad (1)$$

unde:

I'_G este curentul static aplicat pe electrodul de comandă;
I_a — curentul anodic (de sarcină);
α_n — factorul de amplificare al transistorului component T_1 (fig. 2);
α_p — factorul de amplificare al transistorului component T_2 (fig. 2);
$\alpha_\Sigma = \alpha_n + \alpha_p$.

Valorile tipice ale lui $\varkappa$ oscilează aproximativ în jurul valorii de 0,1. De exemplu, dacă curentul anodic (curentul prin sarcină) este de 2 A, atunci curentul (static) necesar stingerii tiristorului pe electrodul de comandă este de 0,2 A. La tiristoarele bioperaţionale obişnuite cu trei electrozi (anod, catod şi electrod de comandă) valorile maxime ale lui $\varkappa$ sînt de 0,02 — 0,01. În cazul tiristoarelor cu patru electrozi [1], [2], [10], coeficientul de amplificare la stingere $K = 1/\varkappa$ poate fi de ordinul a cîtorva mii [1]. Impulsurile de comandă necesare stingerii tiristoarelor GTO variază în general între 5 şi 50 μs [10], [15].

Cum pentru stingerea tiristoarelor GTO prin aplicarea unui impuls pe electrodul de comandă este necesară reducerea sarcinii excedentare din baza p_2 (fig. 3) la o valoare critică Q_{mjn}, amplitudinea impulsului de comandă şi durata acestuia sînt mai mari decît în cazul amorsării tiristorului (fig. 1).

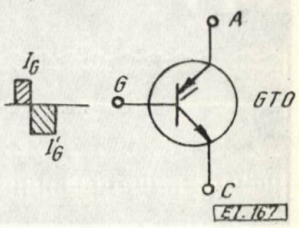


Fig. 1

Între amplitudinea impulsului de comandă şi durata acestuia atît la amorsare, cît şi în cazul stingerii există o strînsă interdependenţă [2], [10], [15] prin următoarea relaţie analitică [15]:

$$I_G = \frac{I_{G0}}{1 - e^{-t/\tau}}, \qquad (2)$$

unde:

I_{G_0} este curentul static de comandă;
I_G — curentul de comandă dinamic care depinde de durata impulsurilor;
t — timpul (sau durata impulsului);
τ — constanta de timp.

Principiul stingerii tiristorului GTO se bazează pe micşorarea curenţilor de emiter ai transistoarelor echivalente T_1 şi T_2 (fig. 2) şi ca urmare şi micşorarea coeficienţilor de amplificare α_n şi

* Ing. *A. Silard* lucrează la Institutul de cercetări electronice.

** În lucrare se folosesc ambele terminologii.

α_p. Cînd $\alpha_\Sigma = \alpha_n + \alpha_p$ devine mai mic decît $\alpha_{critic} \approx 1$, tiristorul se stinge.

În figura 2, R_1 reprezintă rezistența echivalentă a bazei groase n_1.

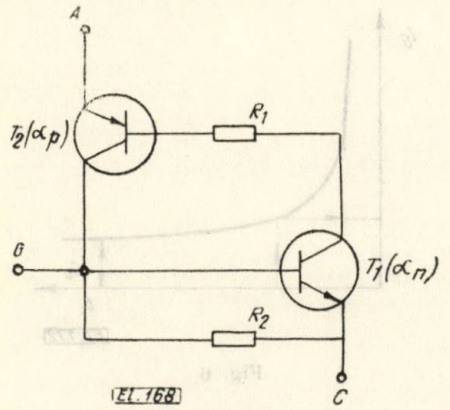


Fig. 2

Rezistența R_2 care șuntează joncțiunea de emiter J_3 ilustrează scăderea capacității de blocare a electrodului de comandă o dată cu creșterea curentului anodic. În acest ultim caz, creșterea curentului anodic atrage după sine creșterea curentului de comandă I'_G, conform relației (1), adică a tensiunii aplicate pe electrodul de comandă. În acest caz, din cauza neliniarității caracteristicii joncțiunii J_3 (fig. 3), curentul de scăpări prin rezistența echivalentă R_2 care șuntează această joncțiune crește mai rapid decît componenta utilă a curentului de intrare. La limită, electrodul de comandă își

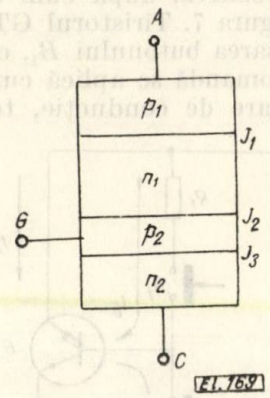


Fig. 3

pierde proprietățile de blocare. Din această cauză, tipurile de tiristoare GTO existente, permit comutarea unor curenți de sarcină de maximum 8 A [8].

Contactoare comandate cu impulsuri de polarități diferite

Cel mai simplu circuit de contactor static cu tiristor, comandat cu impulsuri de polarități diferite este prezentat în figura 4. Tiristorul se amorsează la aplicarea unui impuls pozitiv pe electrodul de comandă, iar stingerea lui se produce după aplicarea unui impuls de polaritate negativă. Conform [2], [10], [15], cu ajutorul curbelor $I_G = f(t_i)$ și $I'_G = f(t_i)$ se pot determina amplitudinile impulsurilor care asigură amorsarea (respectiv stingerea) tiristorului în funcție de durata acestora [15].

Pentru siguranța stingerii tiristorului la aplicarea semnalului de blocare este necesar să se îndeplinească următoarele condiții:

$$\frac{K \cdot E_G}{R_G + R_1 + r_{i_{max}}} \geqslant I_s, \tag{3}$$

$$t_i > \tau_{off}, \tag{4}$$

K este coeficientul de amplificare la stingere;

E_G — tensiunea la intrare (aplicată pe electrodul de comandă);

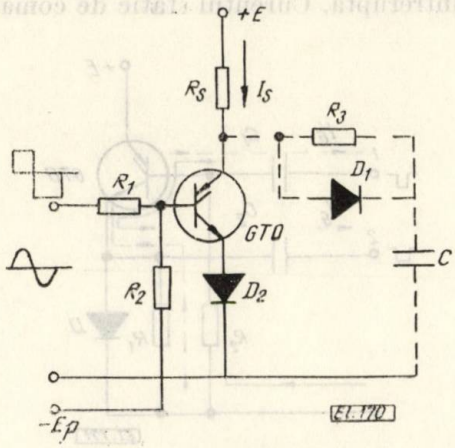


Fig. 4

I_s — curentul de sarcină (curentul anodic);

$r_{i_{max}}$ — rezistența maximă de intrare la stingere [15];

t_i — durata impulsului de comandă;

τ_{off} — timpul de dezamorsare (stingere) dat în catalog.

Limita superioară a curentului de sarcină care poate fi comutat se poate mări prin folosirea grupului R_3CD_1 (fig. 4). La stingere, condensatorul C se încarcă cu o parte din curentul de sarcină conform relației:

$$I_c = C \frac{dU_a}{dt}, \tag{5}$$

unde U_a este tensiunea pe anodul tiristorului.

Coeficientul de amplificare la stingere crește în acest caz la valoarea:

$$K' = K + \frac{I_c}{I'_G}. \tag{6}$$

Rezistența R_3 este necesară pentru descărcarea condensatorului C în procesul amorsării

tiristorului. Comanda tiristorului poate fi efectuată și cu un semnal sinusoidal (fig. 4).

Pentru stabilizarea stării de blocare a tiristorului se poate aplica pe electrodul de comandă o tensiune de blocare (negativă) E_p. Dioda D_2 (fig. 4) micșorează curentul de la această sursă de polarizare.

Contactoare comandate cu impulsuri de polaritate negativă

În figura 5 este prezentat un circuit simplu de contactor static comandat cu impulsuri de polaritate negativă. Amorsarea tiristorului GTO se efectuează prin aplicarea impulsului la borna 2 și atunci curentul de comandă I_G are sensul indicat de săgeată. Stingerea tiristorului are loc după aplicarea unui impuls la borna 1, sensul curentului I'_G fiind indicat în figura 5 de săgeata întreruptă. Curentul static de comandă la

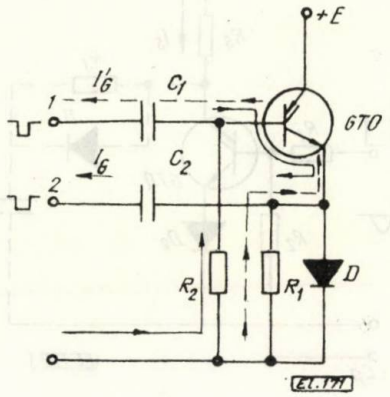


Fig. 5

amorsare I_{G_0}, precum și curentul static la stingerea I'_{G0} pot fi determinați din relațiile [14]:

$$I_{G_0} = \frac{E_G}{R_G + r_{i_{max}} + R_2}; \qquad (7)$$

$$I'_{G_0} = \frac{E'_G}{R_G + r'_{i_{max}} + R_1}, \qquad (8)$$

unde:

E_G, E'_G este tensiunea generatorului de impulsuri la amorsare și respectiv la stingere;

R_G — rezistența internă a generatorului;

$r_{i_{max}}$ — rezistența de intrare maximă a tiristorului la amorsare;

$r'_{i_{max}}$ — rezistența la intrare maximă a tiristorului la stingere [15].

Dacă se cunoaște durata impulsului de comandă atunci se pot afla parametrii circuitului de intrare al tiristorului. De exemplu, în cazul amorsării tiristorului din circuitul reprezentat în figura 5, cunoscînd durata impulsului și curentul static de amorsare I_{G_0}, pe curba $I_G = f(t_i)$ se poate determina valoarea curentului de comandă I_G care asigură amorsarea (fig. 6). Fiind date E_G și R_G și determinînd

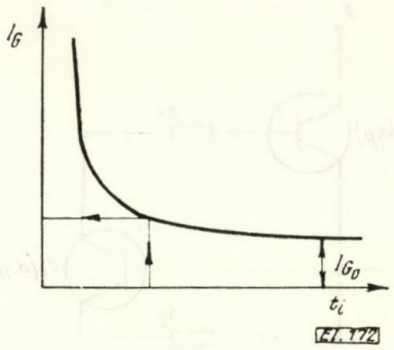


Fig. 6

valoarea lui τ din relația (2), se poate determina valoarea condensatorului C_2:

$$C_2 = \frac{\tau}{r_{i_{max}}}. \qquad (9)$$

În cazul stingerii tiristoarelor procedeul este identic.

Dioda D (fig. 5) este necesară pentru izolarea catodului tiristorului de masă.

Contactoare comandate cu impulsuri de polaritate pozitivă

În cazul legării sarcinii în catod, comanda tiristorului GTO se poate efectua cu impulsuri de polaritate pozitivă, după cum este ilustrat schematic în figura 7. Tiristorul GTO se amorsează prin apăsarea butonului B_1, cînd pe electrodul lui de comandă se aplică curentul $I_G = E/R_1$. În stare de conducție, tensiunea pe

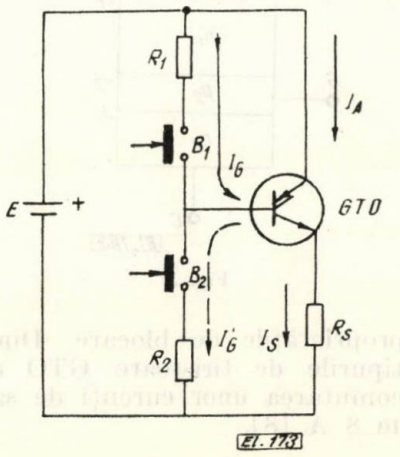


Fig. 7

catodul tiristorului crește la valoarea E a tensiunii de alimentare. Prin apăsarea butonului B_2, electrodul de comandă se leagă la masă prin R_2 și o parte din curentul I_A se scurge prin

electrodul de comandă și R_2, iar tiristorul se stinge.

Rezistența R_2 se alege destul de mică pentru a asigura siguranța dezamorsării (stingerii).

Dacă tensiunea dintre electrodul de comandă și catod este destul de mică în comparație cu tensiunea de alimentare E, atunci practic în momentul aplicării impulsului de stingere a tiristorului, tensiunile pe electrodul de comandă și catod vor fi egale cu E, adică :

$$I'_G \cdot R_2 = R_s I_s = E, \tag{10}$$

unde :

I'_G este curentul negativ de comandă necesar stingerii tiristorului ;

I_s — curentul de sarcină ;

R_s — rezistența de sarcină,

iar

$$R_2 = E/I'_G. \tag{11}$$

Dar :

$$I_A = I_s + I'_G \tag{12}$$

și

$$\varkappa = \frac{I'_G}{I_A}, \tag{13}$$

de unde :

$$R_2 = \frac{E\left(\frac{1}{\varkappa} - 1\right)}{I_s} = \frac{E\,(K-1)}{I_s}, \tag{14}$$

iar K este coeficientul minim de amplificare la stingere, dat în catalog.

O metodă electrică de aplicare a principiului discutat este ilustrată în figura 8. Pentru amorsare, se aplică un impuls pozitiv pe electrodul de comandă la borna *1*. Pentru stingerea tiristorului

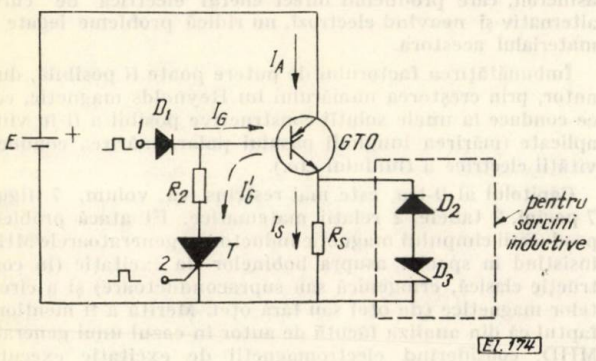


Fig. 8

GTO se aplică un impuls pozitiv pe electrodul de comandă al unui tiristor auxiliar T (borna 2) și în momentul intrării acestuia în conducție, se stabilește un curent negativ de comandă al tiristorului GTO, care se stinge. În cazul sarcinilor inductive, paralel cu acestea se introduc dioda D_2 și dioda Zener D_3 (fig. 8), care asigură grăbirea procesului de scădere a curentului și împiedică creșterea tensiunii pe tiristor în momentul stingerii acestuia.

Concluzii

În articol au fost prezentate și analizate cele mai simple circuite de contactoare statice cu tiristoare bioperaționale care adeseori sînt și cele mai întrebuințate. Unele dintre aceste circuite au fost studiate și experimental [14], rezultatele obținute fiind satisfăcătoare.

Creșterea puterii pe care o pot comuta tiristoarele bioperaționale va face posibilă înlocuirea tiristoarelor obișnuite din circuitele de contactoare statice. Mai rapide decît tiristoarele obișnuite, asigurînd separarea circuitului de intrare de acela de ieșire, tiristoarele bioperaționale se folosesc deja pe scară largă în alte circuite, cum ar fi : formatoare de impulsuri, generatoare de oscilații etc. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [10], [14].

Bibliografie

[1] *Storm, H. P.* Introduction to Turn-Of Silicon Controlled Rectifiers. În : IEE Transt. on Comm. and Electronics, iulie 1963, p. 375—383.

[2] *Kaganov, I. L.* și *Malahov, E. S.* Tipovîie elementî releinovo i kommutaționnovo deistvia s dvuhoperaționnîmii tiristoramii. În : Elektricestvo, nr. 1, 1966.

[3] *Pippen L. D.* The gate turnoff controlled rectifier. În : Electronics World, nr. 2, 1964, p. 46, 74.

[4] *Laishley, H. F.* Power control circuit. British Patent, Cl. 38/4, nr. 939093, 9. X. 1963

[5] * * * Circuit statique de commutation. Brevet d'invention. Cl. H02p, nr. 1342936, 7. X. 1963.

6] *Waterman, A. J.* Switching circuits employing semiconductor controlled rectifiers. British Patent, nr. 986116, Cl. H3T, H03 f.

[7] *Karinski, I. I.* ș.a. Zamknutîie sistemî upravlenia odno-i dvuhoperaționnîmi tiristorami. În : Elektromehanika, izv. VUZ. nr. 10, 1967, p. 1 119.

[8] *Maşlikin, V. G.* Tipovîie discretnîie schemî na trighistorah i triakah. În : Avtomatika i telemehanika, nr. 11, 1967, p. 159—168.

[9] *Tişcenko, N. M.* și *Maşlikin, V. G.* Dinistorî i tiristorî i ih primenenie v avtomatike. Moscova, Energhia, 1966.

[10] *Gentry* ș.a. Semiconductor controlled rectifier. Principles and applicataion of p-n-p-n devices. New-Jersey, 1964.

[11] *Gutzwiller* (editor). Silicon controlled rectifiers manual. New-York, 1964, 3d edition.

[12] *Vărzaru, E.* Contactoare statice cu tiristoare. În : Electrotehnica, nr. 8, 1965, p. 297—302.

[13] *Ponner, I.* Contactoare statice cu tiristoare pentru circuite de curent continuu. În : Automatica și Electronica, nr. 1, 1968, p. 21—26.

[14] *Silard, A.* Formatoare de impulsuri cu tiristoare. În : Telecomunicații, nr. 11, 1968, p. 430—435.

[15] *Silard, A.* Analiza unor aspecte ale comutației tiristoarelor GTO. În : Automatica și Electronica, nr. 5, 1968, p. 228—232.

[16] *Silard, A.* Procese tranzitorii la amorsarea tiristoarelor pe electrodul de comandă. În : Telecomunicații, nr. 5, 1968, p. 216—219.

Intrat în redacție la 30. IX. 1968

RECENZII

CZ 537.525 : 538.67 : 532.5

A. NICOLAIDE. **Producerea energiei electrice pe cale magnetohidrodinamică**. Bucureşti, Editura Tehnică, 1969

În lucrarea „Producerea energiei electrice pe cale magnetohidrodinamică" tipărită recent de Editura Tehnică, spre deosebire de unele lucrări cunoscute în acest domeniu cum sînt cele ale lui Jackson sau Sutton, autorul reuşeşte o apropiere şi stabilire de analogii cu teoria maşinilor electrice clasice, ceea ce permite obţinerea unor rezultate a căror structură este mai apropiată scopurilor practice.

Autorul are meritul de a fi sesizat faptul că în domeniul acesta nou al producerii de energie prin alte mijloace decît cele clasice, deşi există nenumărate lucrări tratînd unele aspecte „înguste", strict specifice unui domeniu limitat, nu există încă lucrări care să lege cunoştinţele obţinute disparat de diferiţi autori, reuşind să prezinte în mod închegat o lucrare de nivel, cu numeroase contribuţii originale şi de reală utilitate pentru specialiştii din domeniile electrotehnicii, energeticii, fizicii.

Primul capitol, conţinînd 23 pagini, 5 figuri şi 86 relaţii matematice, este rezervat ecuaţiilor magnetohidrodinamice care în cazul lichidelor conductoare rezultă evident din ecuaţiile electrodinamicii şi hidrodinamicii. Consideraţiile generale făcute de autor asupra ecuaţiilor magnetohidrodinamicii permit depistarea unor cazuri particulare pentru medii fluide în repaus sau în mişcare, ecuaţiile fiind deduse dintr-o relaţie mai generală de forma: $\frac{\partial \overline{B}}{\partial t} = \text{rot}\,(\overline{v} \times \overline{B}) \times \lambda_M \nabla^2 B$. În acelaşi capitol, în scopul precizării unor fenomene, se prezintă ecuaţiile MHD pentru gaze parţial sau complet ionizate; revenind asupra unor lucrări interesante publicate anterior de autor în literatura de specialitate, se stabilesc ecuaţiile ce dau mişcarea electronilor în gaz, a ionilor pozitivi, sau a gazului în ansamblu, mişcarea particulelor cu sarcină electrică în cîmpul electric sau magnetic ca şi scurgerea paralelă a unui fluid conductor într-o conductă cu pereţi izolanţi sub acţiunea unui cîmp magnetic, cazuri apropiate de cele ce se vor întîlni în aplicaţiile practice ale MHD.

Impresionează în mod plăcut interesul deosebit pe care îl arată autorul transmiterii către cititor a sensului fizic al formulelor stabilite; interpretările date în acest paragraf reuşesc încă de la început să traseze „jaloane" pentru anumite fenomene.

Capitolul al 2-lea, conţine 47 pagini, 31 figuri, 135 relaţii matematice, 2 tabele: el cuprinde date privind generatorul magnetohidrodinamic cu metal lichid, fenomenele principale întîlnite în maşină, cîmpul electromagnetic în canalul generatorului MHD ca şi ecuaţiile tensiunii generatorului şi a randamentului său.

Capitolul se încheie cu o analiză a cîmpului electromagnetic în canalul MHD, cînd inducţia magnetică este nulă în afara zonei electrozilor sau atunci cînd curba respectivă este extinsă şi în afara zonei electrozilor; calculul unui generator MHD cu metal lichid pentru tensiuni joase şi curenţi intenşi se prezintă ca exemplu.

Capitolul al 3-lea tratează problema plasmei şi conversiunii magnetohidrodinamice; conţine 23 pagini, 10 figuri şi 21 relaţii matematice. Explicitînd ce se înţelege prin plasmă, autorul tratează posibilităţile de obţinere ale acesteia, insistînd în special asupra ionizării termice sau echilibrate (obţinute prin încălzirea gazului la temperaturi înalte) şi ionizări supratermice sau neechilibrate (obţinută prin acţiunea unui cîmp electric sau altor cauze exterioare). Modul de tratare al problemei adaosului pentru ionizare, al concentraţiei optime a acestuia ca şi metodele de determinare a conductivităţii plasmei, furnizează elemente interesante. Ultimul paragraf explicitează producerea energiei electrice în generatorul MHD cu plasmă, tratînd problema conversiunii prin ciocnire sau prin mişcare giratorie.

Capitolul al 4-lea tratează problema generatoruliui MHD liniar de curent continuu cu electrozi compleţi; conţine 34 pagini, 17 figuri, 88 relaţii matematice. Este prezentată construcţia acestui tip de generator (menţionat de multe ori în literatură ca „generator tip Farady"), elementele constructive (canalul, electrozii, înfăşurarea de excitaţie) şi ecuaţiile fundamentale ce se stabilesc în cazul canalelor de secţiune constante sau variabile. Procesul de apariţie al „blocajului termic" şi posibilităţile de a fi evitat este studiat pe baza unor relaţii analitice cu considerarea unor valori caracteristice pentru numărul lui Mach; de aici rezultă date constructive privind secţiunea canalului în lungul generatorului. Modul în care se aleg mărimile principale funcţie de care se calculează performanţele generatorului MHD, se explicitează pentru o construcţie de acest tip; inducţ a magnetică, temperatura generatoare la intrare şi ieşire, presiunea, viteza de intrare, puterea utilă specifică, sînt cîţiva factori analizaţi de autor şi care influenţează performanţele generatorului.

Capitolul al 5-lea, conţine 18 pagini, 11 figuri, 36 relaţii matematice, o tabelă şi este destinat tratării generatoarelor MHD liniare de curent continuu, cu electrozi secţionaţi. După o analiză a fenomenelor principale din generator (ca un merit al lucrării întîlnit şi în celelalte capitole este permanenta grijă de a explica fenomenul), se analizează generatoarele MHD cu electrozi secţionaţi şi cîmpuri transversale sau longitudinale cu avantajele şi dezavantajele specifice construcţiei. O variantă a generatorului cu electrozi segmentaţi o constituie generatorul cu electrozi legaţi în serie ceea ce permite obţinerea unor tensiuni mai mari.

Capitolul al 6-lea, conţine 29 pagini, 12 figuri şi 118 relaţii matematice, el tratează efectul de capăt la generatorul MHD liniar cu electrozi compleţi sau segmentaţi, pentru un cîmp magnetic care se termină chiar la marginea electrozilor. Se stabilesc ecuaţiile fundamentale ce guvernează aceste procese, condiţiile de frontieră şi se analizează rezultatele.

Capitolul al 7-lea, conţinînd 15 pagini, 8 figuri, 34 relaţii matematice, tratează problema generatoarelor MHD neliniare de curent continuu.

Două construcţii sînt analizate din punct de vedere al fenomenelor principale şi ecuaţiilor fundamentale de funcţionare şi anume: generatoarele MHD disc şi cele coaxiale; se prezintă avantajele şi dezavantajele fiecărei construcţii. Un exemplu de dimensionare pentru un generator MHD disc este dat în acest capitol, insistîndu-se asupra unor parametri constructivi ce pot influenţa caracteristicile generatorului: dimensiunile radiale şi axiale, grosimea stratului de gaz rece izolant de pe pereţii care separă electrozii, coeficientul S_u.

Capitolul al 8-lea, conţine 19 pagini, 6 figuri şi 74 relaţii matematice. Se analizează tipurile principale de generatoare de curent alternativ şi anume cele de conducţie, de inducţie şi generatorul MHD asincron. Ecuaţiile fundamentale, mărimile de stare şi ipotezele simplificatoare sînt prezentate succint. O atenţie specială se acordă generatorului MHD asincron, care producînd direct energi electrică de curect alternativ şi neavînd electrozi, nu ridică probleme legate de materialul acestora.

Îmbunătăţirea factorului de putere poate fi posibilă, după autor, prin creşterea numărului lui Reynolds magnetic, ceea ce conduce la unele soluţii constructive posibil a fi în viitor aplicate (mărirea lungimii pasului polar, mărirea conductivităţii electrice a fluidului etc.).

Capitolul al 9-lea, este mai restrîns ca volum, 7 figuri, 7 pagini, 2 tabele, 2 relaţii matematice. El atacă problema producerii cîmpului magnetic inductor în generatoarele MHD, insistînd în special asupra bobinelor de excitaţie (în construcţie clasică, criogenică sau supraconductoare) şi a circuitelor magnetice (de oţel sau fără oţel. Merită a fi menţionat faptul că din analiza făcută de autor în cazul unui generator MHD, considerînd electromagneţii de excitaţie executaţi cu conductoare clasice, rezultă că aceste construcţii corespund în mod esenţial producerii de puteri mari. Concluziile capitolului concordă cu cercetări recente în acest domeniu care lasă să se întrevadă posibilitatea construirii, într-un viitor apropiat, a unor generatoare a căror putere este de ordinul a 600 MW.

Capitolul al 10-lea, conţine 25 pagini, 16 figuri, 20 relaţii matematice; el este rezervat analizei centralelor electrice cu generatoare MHD la care prin eliminările fazei de trecere a energiei de combustie în energie mecanică şi trecerea directă

din energie termică a gazului în energie electrică, randamentul global cunoaşte o creştere semnificativă. Autorul dezvoltă o analiză deosebit de interesantă a soluţiilor posibile, insistînd asupra : centralelor MHD cu plasmă, centralelor MHD cu ciclu închis sau deschis, centralelor termice clasice combinate cu centrale MHD, centralelor MHD cu fluid metal lichid. Avantajele sau limitările pe care le are o construcţie determinată, se prezintă în lucrare. Un paragraf special este rezervat adaosului de ionizare, camerii de ardere şi surselor de căldură a centralelor MHD cu plasmă şi ciclu deschis ; se analizează procesele de ardere, temperatura de ardere pentru diferite combinaţii de combustibili şi carburanţi, dîndu-se indicaţii legate de obţinerea unor temperaturi de ordinul a 2500—3000°K.

Capitolul al 11-lea, 15 pagini, 5 figuri, 3 tabele este destinat unei probleme deosebit de importante la generatoarele MHD, dar destul de disparat tratată în literatura de specialitate şi anume, aceea a materialelor utilizate în aceste construcţii. Autorul reuşeşte să sintetizeze informaţiile cunoscute, să adauge unele date noi, reuşind o prezentare edificatoare a materialelor ce trebuie utilizate şi parametrii electrici, mecanici şi termici pe care trebuie să-i satisfacă. Se tratează materialele izolante folosite în construcţia canalului generatorului MHD, materialele din care se confecţionează electrozii pentru izolanţi, schimbătoarele de căldură, insistînd asupra compatibilităţii lor de funcţionare în condiţiile unor temperaturi ridicate, atmosfere oxidante sau reductoare, reacţii chimice etc.

Capitolul al 12-lea, ultimul din lucrare (cuprinde 25 pagini), tratează unele construcţii de generatoare MHD construite în prezent în unele ţări. Se prezintă generatoare MHD cu ciclu deschis, generatoare liniare de curent continuu (tipuri Mark I—V), precum şi generatoare MHD cu ciclu închis ; o sinteză a tipurilor construite de diferite laboratoare şi parametrii lor, sînt date în continuare. Capitolul prezintă interes pentru cititor, oferindu-i numeroase date privind elementele constitutive a diferitelor construcţii : electrozii, camera de stingere, electromagnetul, schimbătorul de căldură etc. Un stadiu actual al producerii energiei electrice prin metoda MHD şi perspectivele sale de dezvoltare sînt date în finalul capitolului.

O bibliografie generală conţinînd 154 referinţe bibliografice este ataşată lucrării.

Dr. ing. *Fl. Tănăsescu*

CZ 621.313.333 – 531.6

A. I. Tanatar : **Metode de reglare a vitezei motoarelor asinerone.** (Metodî regulirovaniia skorostii asinhronnîh dvigatelei. Kiev, Ed. tehnika, 1968, 160 pag., 106 fig. 116 ref. bib.

Scrisă la un nivel comprehensiv, abordînd multilateral tema indicată în titlu, cartea lui Tanatar este destinată unui cerc relativ restrîns de cititori. Ea abordează metodele de reglare a vitezei motoarelor asincrone, calităţile şi limitele acestor metode, precum şi schemele de conectare ale motoarelor, caracteristicile lor mecanice şi indicatorii energetici. Un accent deosebit este pus pe folosirea tiristoarelor în schemele de reglare a vitezei motoarelor asincrone. Se poate afirma de la bun început, că autorul a reuşit să se achite în mare parte de sarcina pe care şi-a propus-o (amintită, de altfel, explicit în scurta introducere a lucrării), şi anume, de a înmănunchea în spaţiul restrîns al cărţii, o mulţime de date interesante şi informaţii preţioase.

Cartea conţine 8 capitole. Primul capitol, intitulat „Metode parametrice de reglare a vitezei", este foarte scurt. Sînt prezentate succint diverse metode de reglare a vitezei şi anume prin : variaţia tensiunii aplicate ; variaţia rezistenţei active în circuitul rotorului ; variaţia rezistenţei inductive din circuitul rotorului ; variaţia rezistenţei capacitive din circuitul rotorului şi variaţiar rezistenţei inductive din circuitul statorului. Un spaţiu destul de amplu este rezervat reglării vitezei prin variaţia simetriei parametrilor fazelor motorului asincron (metoda cîmpului invers), a cărei analiză constituie obiectul celui de-al doilea capitol. Următorul capitol se ocupă de legarea mai multor motoare între ele. Astfel, se examinează legarea a două motoare asincrone, precum şi legarea unui motor asincron cu maşini de curent continuu şi legarea unui motor asincron cu o maşină sincronă. De asemenea, sînt examinate cazurile legării unui motor asincron cu maşini de curent alternativ, precum şi legarea unui motor asincron cu un convertor cu tiristoare.

Capitolele IV, V, VI se ocupă de reglarea vitezei motorului asincron prin metode denumite „de frecvenţă" şi „de impulsuri". Se remarcă prin materialul prezentat, subcapitolele care abordează sistemele cu amplificatoare magnetice şi sistemele cu tiristoare pentru reglarea prin impulsuri. Se poate sublinia faptul că cele aproximativ 70 pagini ale acestor trei capitole prezintă concentrat un material de un mare interes.

Capitolul al VII-lea, intitulat „Metode electromecanice de reglare a vitezei" este în multe privinţe clasic şi prezentarea lui nu se deosebeşte prea mult de aceea care se efectuează în orice manual sau lucrare consacrată acestei probleme.

Capitolul al VIII-lea poate suscita un viu interes din partea specialiştilor, deoarece se ocupă de reglarea vitezei motoarelor asincrone de construcţie specială. Sînt discutate motoare asincrone cu două rotoare, motoare asincrone cu magnet „ajutător" etc.

Cartea „Metode de reglare a vitezei motoarelor asincrone", este destinată în primul rînd specialiştilor profilaţi pe studiul acţionărilor electrice. Materialul dens al cărţii, precum şi vasta lui bibliografie pot fi de un real folos în găsirea unor metode optime pentru diverse cazuri practice. De asemenea, lucrarea poate suscita interesul studenţilor din ultimii ani ai facultăţilor de electrotehnică şi electronică.

Ing. *A. Silard*

CZ 621.34–52/53.

Gh. Tunsoiu. **Acţionări şi automatizări electrice.** Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1968, 355 pagini

Lucrarea reprezintă, in extenso, cursul pe care autorul îl predă la facultatea de Electrotehnică (anul V) din Institutul politehnic Bucureşti. Elaborată ca un curs universitar, cu o tematică bine stabilită, lucrarea răspunde atît cerinţelor didactice, cît şi problemelor de ultim moment ale tehnicii, în acest domeniu. Pe baza unei îndelungate experienţe pedagogice şi de producţie, autorul reuşeşte să ne prezinte un material închegat ce poate servi în egală măsură, atît studenţilor din ultimul an de facultate, tinerilor absolvenţi, cît şi inginerilor din vastul domeniu al acţionărilor şi automarizărilor.

Materialul prezentat este împărţit în opt capitole, după cum urmează : 1. Motorul electric, ca obiect al acţionărilor electrice (p. 21—80) ; 2. Elementele acţionărilor electrice (p. 81—122). 3. Reprezentări grafice ale funcţiilor de transfer (p. 123—160) ; 4. Stabilitatea sistemelor de reglare automată (p. 161—206) ; 5. Calitatea sistemelor de acţionare electrică reglabilă (p. 207—248) ; 6. Acţionarea electrică reglabilă cu motoare de curent continuu (p. 253—276) ; 7. Reglarea dispozitivelor de acţionare electrică cu motoare asincrone (p. 277—300) ; 8. Elemente de reglare numerică a vitezei motoarelor electrice (p. 301—344).

În capitolul 1 se face o trecere în revistă a diverselor tipuri de motoare electrice şi a metodelor de alegere a lor, în funcţie de regimurile de funcţionare, de caracteristicile mecanice şi electrice.

Se prezintă motoarele de curent continuu cu excitaţie separată şi serie, maşinile asincrone, caracteristicile lor mecanice, metodele automate de pornire şi de frînare, procesele tranzitorii ce însoţesc toate aceste regimuri.

Capitolul al doilea prezintă elementele acţionărilor electrice. După ce se defineşte o instalaţie automată, proprietăţile ei, se prezintă sistemul UNIDIN, domeniul de aplicare şi părţile sale componente şi anume : traductoare de curent, tensiune, turaţie, unghi, accelerаţie etc. ; elemente de obţinere a informaţiilor ; elemente de prelucrare ale informaţiilor — regulatoare electronice ; elementele de utilizare ale informaţiilor — elemente de execuţie.

Un întreg subcapitol se ocupă de funcţiile de transfer ale sistemelor automate. După ce se face o succintă analiză a transformatei Laplace se prezintă regimurile dinamice şi funcţiile de transfer ale tahogeneratoarelor, generatoarelor şi motoarelor de curent continuu, amplitudinei, amplificatorului magnetic, motorului asincron şi a regulatoarelor UNIDIN.

Capitolul al treilea — Reprezentări grafice ale funcţiilor de transfer se ocupă de analiza sistemelor automate: descompunerea unui sistem în elemente simple, schemele de structură ale sistemelor de acţionări reglabile, algebra schemelor de structură, caracteristicile amplitudine-fază, caracteristicile reale de frecvenţă.

În capitolul următor, al patrulea, se discută stabilitatea sistemelor de reglare automată, prezentîndu-se diverse criterii: Routh-Hurwitz, Mihailov, Nyquist. În încheiere, sînt comentate diverse metode de stabilizare: circuitul diferenţial RC, transformatorul de stabilizare, shuntarea elementelor de integrare prin legături inverse.

Capitolul al cincilea se ocupă de sistemele de acţionarea electrică reglabilă. Pentru aprecierea comportării sistemelor de reglare automată se utilizează diverse tipuri de semnale: semnale treaptă, rampă, sinusoidale, Dirac.

Ca aplicaţii ale teoriei generale enunţate, capitolele şase şi şapte se ocupă de acţionările electrice reglabile cu motoare de curent continuu şi asincrone. Se discută caracteristicile sistemului Ward-Leonard, reglările vitezei motoarelor de curent continuu cu amplificatoare magnetice, prin reglajul curentului de excitaţie sau al curentului indusului, prin redresoare comandate. Pentru reglajul vitezei maşinilor asincrone se oferă diverse metode: reglajul de tensiune, rezistenţe rotorice, cascade, invertoare cu tiristoare.

Ultimul capitol, al optulea, tratează un domeniu modern şi de ultimă oră al acţionărilor: reglarea numerică a vitezei motoarelor electrice. După ce se face o prezentare generală a sistemelor cu eşantionare sînt expuse schemele de structură ale sistemelor de reglare numerică a vitezei motoarelor electrice, elementele acestor scheme (traductoare numerice, generatoare de tact, divizioare de frecvenţă comandate, numărătoare, memorii, dispozitive de afişare, convertoare analog-numerice, regulatoare numerice proporţionale pe bază de numărător de revenire).

În încheiere, se face o comparaţie între sistemele de reglare numerice şi cele analoge, reliefîndu-se avantajele celor din prima categorie.

Prin bogatul material expus, prin interesanta lui prezentare, cartea a trezit interesul celor ce se ocupă de domeniul acţionărilor electrice, reglabile, interes materializat prin epuizarea rapidă a lucrării.

Fără a-i diminua cu nimic valoarea, după părerea noastră ar fi fost de dorit ca autorul să trateze pe lîngă motoarele asincrone sau de curent continuu şi alte tipuri de maşini ca motoarele sincrone sau speciale destul de răspîndite în acţionările electrice. De asemenea, nu lipsit de interes ar fi fost şi un paragraf de sinteză a sistemelor automate precum şi o mai amplă discuţie asupra sistemelor neliniare.

În concluzie, cartea reprezintă o valoroasă sinteză a unei bogate literaturi de specialitate românesti şi străine, a lucrărilor colectivelor I.P.A., a lucrărilor originale ale autorului, carte pe care o recomandăm cu căldură tuturor cititorilor revistei.

Prof. Dr. *Alexandru Fransua*

REFERATE

CZ 620.98 *Alegerea surselor de energie pentru scopuri anumite*

CZ 546.79:620.98(41–4)

Kroms, A. **Energia nucleară în aprovizionarea cu energie a Marii Britanii** (L'énergie nucléaire dans l'approvisionnement en énergie de la Grande-Bretagne). În: Bull. ASE **59**, nr. 23, 1968, p. 1 079—1 090, 11 fig., 4 tab., 15 ref. bibl.

Creşterea rapidă a cererii de energie, lipsa de combustibil, au impus dezvoltarea, în Anglia, a unui vast program de punere în valoare a energiei nucleare. În acest domeniu Anglia ocupă astăzi primul loc în lume şi, datorită dezvoltării sistematice a unui singur tip de reactor, în scurt timp s-a ajuns să integreze pe scară largă energia nucleară în sistemul energetic. Centrale cu puteri de ordinul a 2×590 MW sînt în serviciu şi alte cîteva, de puteri mai mari de 1 000 MW, sînt în construcţie. Se estimează că la sfîrşitul anului 1970, centralele nucleare vor furniza aproximativ 30% din energia electrică, devenind competitive surselor clasice.

Se prezintă şi noile tipuri de reactoare perfecţionate răcite cu gaz, deja intrate în dotarea ultimelor centrale nucleare. Noi cercetări se desfăşoară în vederea obţinerii unor reactoare supragenératoare care vor permite realizarea unei complete utilizări a agenţilor energetici. Aceste construcţii sînt considerate ca un compliment al reactoarelor termice, dar punerea lor în funcţiune va depinde de rezervele disponibile de plutoniu.

Fl. T.

CZ 621.313 *Maşini electrice*

CZ 621.313.2–52:621.314.63:621.382.3

Robinson, C. **Reproiectarea motoarelor de curent continuu comandate prin tiristoare în serie cu circuitul indusului.** (Redesign of DC Motors for Applications with Thyristor Power Supplies). În: I.E.E.E. Transaction on Industry and General Aplications, nr. 5, sept-oct 1968, p. 508—514, 9 ref. bibl.

Sistemele de comandă a maşinilor de curent continuu cu tiristoare au început din ce în ce mai mult să înlocuiască metodele clasice de reglaj tip Ward Leonard. Pe lîngă avantajele evidente (preţ de cost, simplitate, volum), o serie de efecte nedorite împiedică înlocuirea totală a sistemelor clasice. Comanda prin pulsuri de tensiune conduce la o încălzire a maşinii clasice de c.c., la înrăutăţirea comutaţiei şi la o scădere a randamentului.

Autorul, trecînd în revistă metodele moderne de reglaj cu avantajele şi dezavantajele lor, efectul diverselor forme de tensiune asupra comutaţiei trage concluzia că o construcţie cu stator lamelat (poli şi jug), un întrefier mărit, circuite magnetice nesaturate, perii de bună calitate din electrografit şi un colector îngrijit lucrat asigură o funcţionare normală a maşinilor de curent continuu în aceste noi condiţii.

R. M.

Alger, P.: Coelho, W. şi Patel, M. **Comanda vitezei motoarelor asinerone cu rotor bobinat utilizînd tiristoare şi saturistoare.** (Speed Control Wound Rotor Motors with SCRs and Saturistors). În: I.E.E.E. Transactions on Industry and General Aplications, nr. 5, sept-oct 1968, p. 477—485, 14 fig. 4 ref. bibl.

O soluţie interesantă pentru reglarea vitezei motoarelor asincrone apărută în ultima vreme în literatura de specialitate o constituie introducerea în serie, cu înfăşurarea rotorică, a unor saturistoare (bobine de reactanţă cu miez dintr-un aliaj special de tip Alnico ce prezintă pierderi prin histerezis ridicate şi a căror impedanţă poate fi variată printr-o înfăşurare de comandă specială).

În articol se prezintă o astfel de soluţie în combinaţie cu un reglaj de tensiune utilizînd tiristoare, reglaj de tensiune ce se realizează prin întîrzierea unghiului lor de aprindere.

Sînt prezentate trei variante: tensiunea statorică constantă, impedanţa saturistoarelor fiind variată prin curentul continuu de comandă; reglaj de tensiune cu tiristoare pe partea statorică şi saturistor fie pe rotor; reglaj de tensiune cu tiristoare pe primar şi un saturistor fix în paralel cu o rezistenţă, pe secundar.

Calculele şi încercările au arătat avantajele tuturor acestor soluţii recomandînd în acţionarea pompelor varianta a doua, pentru cupluri mari la viteze mici — schema a treia, iar

schema întîi pentru reglaje de viteze în limite reduse (10—15%).

În concluzie, metoda propusă conduce la un bun randament, la un reglaj simplu şi eficient.

R.M.

CZ 621.303.1 ;534.2

Ellison, A. J. şi Moore, C. J. **Zgomotele şi vibraţiile acustice ale maşinilor electrice rotative** (Accustic noise and vibration of rotating electric machines). În: Proceedings of the Institute of Electrical Engineers, nr. 11, 1968, p. 1 633—1 640, 167 ref. bibl.

În ultimul timp, diverşii consumatori de motoare electrice au devenit tot mai pretenţioşi asupra zgomotului produs. Standardele diverselor ţări limitează nivelul admis, lucru care a obligat pe conducătorii de maşini electrice la un studiu aprofundat al cauzelor şi mijloacelor de limitare a zgomotelor şi vibraţiilor care apar în timpul funcţionării.

Articolul — sinteză a unei foarte bogate bibliografii — prezintă diversele surse de zgomote: forţe mecanice, magnetice şi aerodinamice. Pentru forţele magnetice şi mecanice o importanţă deosebită joacă răspunsul sistemului (dinţi, poli, rotor, stator), frecvenţele de rezonanţă şi forma maşinii. Zgomotul aerodinamic este cauzat de nesimetria cilindrică a maşinii (poli aparenţi, dinţi, ventilator), cît şi de trecerea aerului prin conducte cu secţiuni diferite.

În încheiere sînt prezentate metodele de măsurare şi posibilităţile de reducere a zgomotelor şi vibraţiilor.

R.M.

CZ 620.313.333.2.025.1.045.34

Hershberger, D. D. şi Olenkam, J. L. **Un motor de industrie monofazat cu o singură înfăşurare distribuită** (A Single-Phase Induction Motor with one Distribuited Winding). În: I.E.E.E. Transactions on Power Apparatus and Systems, nr. 10, oct. 1968, p. 1 862—1 866, 9 fig., 2 ref. bibl.

Pentru pornirea motoarelor asincrone monofazate se folosesc diverse metode: o a doua înfăşurare alimentată printr-o capacitate; inductanţă sau rezistenţă; poli ecranaţi sau utilizarea unui întrefier neuniform.

Autorii prezintă o maşină asincronă monofazată cu înfăşurare uniform distribuită, cu un stator cu nesimetrie cilindrică. Pentru cupluri reduse de pornire, maşina are caracteristici superioare maşinii cu poli ecranaţi (înfăşurările concentrate conduc la apariţia unui cuplu important de armonica trei), prezentînd un randament mai bun şi un curent de pornire şi sarcină mai mic. Faţă de motorul monofazat capacitiv performanţele sînt mai scăzute, totuşi preţul de cost mai scăzut al maşinii cu întrefier neuniform o face să fie folosită la diverse acţionări, şi în special la ventilatoarele de mică putere.

Utilizînd teoria celor două axe, sînt predeterminate caracteristicile maşinii, caracterictici care sînt foarte apropiate de cele obţinute experimental.

R.N.

CZ 621.314 *Transformarea energiei electrice*

CZ 621.314.2.0177 : 621.317.794

Reiplinger, E. **Dispozitiv de măsură a temperaturii bobinajului la transformatoare în timpul serviciului.** (Messeinrichtungzum Bestimmen der Wieklungstemperatur von Transformatoren während des Betriebes). ETZ-B, nr. 20, oct 1968, p. 545—549, 10 graf., 1 fig.

Supratemperatura medie a înfăşurării transformatoarelor este măsurată prin stabilirea rezistenţei. În scopul măsurării rezistenţelor înfăşurărilor în timpul serviciului, se suprapune curentului alternativ un mic curent continuu. Lucrarea de faţă descrie un dispozitiv de măsură, la care curentul continuu de măsură este separat de curentul alternativ (nu ca pînă acum, printr-un filtru LC) printr-un transformator de curent. Cîmpul alternativ al acestui transformator este compensat iar cîmpul continuu este cuplat printr-un generator Hall. Se obţine astfel o mare eficacitate a filtrării şi o complectă separare galvanică a semnalului de măsură faţă de obiectul de măsurat. Eroarea nu depăşeşte ± 1 grd.

Motivele, care au condus la utilizarea metodei de faţă — cunoscută, de altfel, sub o formă mai simplă sub numele de „metoda superpoziţiei" — au fost erorile datorite momentelor de anclanşare şi declanşare a transformatoarelor.

Sînt descrise în primul rînd patru sisteme de măsură prin metoda „superpoziţiei" arătîndu-se dezavantajele fiecăreia şi se trece apoi la sistemul „Siemens", unde — pentru separarea curentului alternativ de cel continuu — se utilizează un dispozitiv format dintr-un transformator de curent în al cărui şimbure de fier se află un generator „Hall". Faţă de sistemul, care în loc de sonda „Hall" utilizează rezistenţe în paralel şi filtre LC, se obţine valori de 40—50 mV, deci de 10 ori mai mari decît la rezistenţele în paralel. Ca o consecinţă, se pot utiliza instrumentele de măsură obişnuite (mai puţin sensibile) şi anume cu precizie normală de 0,2%.

Urmează descrierea funcţionării dispozitivului, erorile care pot interveni şi posibilităţile de evitare a acestora.

În încheiere se prezintă măsurarea temperaturii la un transformator de 800 kVA (separat pentru înfăşurare şi pentru ulei).

Gh.C.

CZ 621.314.63.025.1 :621.314.21.018.782.3 :681.142. – 523.8

Stulnikov, V. I. şi Kolcev, E. V. **Studiul proceselor tranzitorii în transformatoare monofazate cu ajutorul calculatoarelor electronice analogice** (Issledovanie na A.V.M. perehodnîh proţesov v transformatorah ognofaznîh preobrazovatelinîh ustanovoc). În: Elektricestvo, nr. 11, 1968, p. 33—36, 3 fig., 5 ref. bibl.

După încadrarea problemei se indică stadiul cercetărilor şi se explică aspectele fizice pe care le implică procesele tranzitorii în asemenea aparate electrice.

Modelele matematice se referă atît la tensiunea aplicată, cît şi la fluxul magnetic care traversează primarul şi secundarul transformatorului monofazat.

În vederea modelării ecuaţiilor ce leagă tensiunea, curenţii şi fluxul aparatului, se construieşte schema echivalentă a aparatului şi se comentează impedanţele de transfer şi cele de cuplaj din structura schemei de calcul.

Se indică apoi schema logică de calcul pentru maşinile electronice analogice şi se fac comentarii asupra posibilităţilor de experimentare.

Rezultatele experimentale se reproduc sub formă de oscilograme, care arată modul de variaţie a curentului şi tensiunii în primarul şi secundarul transformatorului monofazat.

A.C.

CZ 621.314.632.4

Grehov, I. V., Tucikevici, V. M. **Tiristoare de putere cu avalanşă controlată de tipul TL-2.** (Moşcinlie tiristori s kontroliruemîn lavinoobrazovaniem serii TL-2). În: Elektricestvo, 1968, nr. 9, p. 46—50.

Pentru mărirea tensiunii de lucru a tiristoarelor, este necesar să se mărească tensiunile de străpungere a joncţiunii de colector J_2 şi a joncţiunii de emiter J_1, adică trebuie să crească rezistivitatea materialului semiconductor iniţial. În acest caz, pentru evitarea efectului de străpungere al transistorului component pnp al structurii pnpn este necesar să se mărească grosimea bazei $n_1.(w_n)$. Acest fapt duce la mărirea căderii de tensiune pe tiristorul în conducţie şi măreşte implicit puterea disipată. Din această cauză, la valori mari ale densităţii curentului, temperatura maxim-admisibilă de lucru a structurii pnpn trebuie să aibă o valoare destul de mare.

Tiristoarele ce se fabrică în prezent operează la temperaturi maxime de 150°C, determinate de momentul scăderii valorii tensiunii de comutare sub influenţa acesteia. Prin şuntarea pe cale tehnologică a joncţiunii de emiter J_1 la tiristoarele cu

avalanşă controlată, temperatura maxim-admisibilă creşte substanţial şi poate depăşi 180°C.

La o valoare mare a curentului de scăpări al joncţiunii de emiter J_1 apare posibilitatea comutării colectorului J_2 la o tensiune ce depăşeşte tensiunea de străpungere în avalanşă a acestuia. La un raport optim dintre şuntul joncţiunii J_1 şi cel al joncţiunii J_2, creşte temperatura critică, la depăşirea căreia are loc o scădere bruscă a tensiunii de comutare. Acest fapt permite mărirea substanţială a densităţii curentului prin tiristor.

Investigaţiile întreprinse de autori au scos în evidenţă o serie de avantaje ale tiristoarelor cu avalanşă controlată. Pe lîngă cele menţionate deja, acestea au o stabilitate în timp a tensiunii de comutare (slaba dependenţă a acesteia de variaţiile curentului de scăpări al joncţiunii de colector J_2), funcţionează îndelungat în regim de comutare şi posedă o mare viteză de comutare a circuitului de sarcină.

Tiristoarele care admit o temperatură maxim-admisibilă de 150°C operează în general pînă la 125°C. Autorii recomandă folosirea acestor tiristoare cu avalanşă controlată, care au o temperatură maxim-admisibilă de 170—180°C la o temperatură de maximum 140°C, pentru menţinerea gradului optim de fiabilitate.

A.S.

CZ 621.316 *Distribuirea energiei electrice*

CZ 620.316.727 ;621.319.4.015.38

Hochhänsler, P. **Fenomene de încărcare în instalaţii de compensare şi străpungerile de condensatoare provocate** (Ladeerscheinungen in Kompensationsanlagen und dadurch vernrsachte Kondensator- Durchschläge). În : ETZ-B nr. 25, dec 1968, p. 733—736.

Cu ocazia deconectării parţiale a unei baterii, condensatoarele de defazaj pot fi încărcate în plus cu o tensiune continuă de o valoare inadmisibilă, dacă aceasta nu este eliminată prin dispozitive de descărcare racordată în permanenţă la tensiunea alternativă de reţea. Autorul arată la ce fel de conexiuni intervine acest fenomen şi cînd descărcarea prevăzută după deconectare nu este suficientă. Se precizează în primul rînd că la condensatoare cu capacităţi diferite racordate în serie şi alimentate cu curent continuu, tensiunea de încărcare a fiecăruia corespunde raportului invers al capacităţilor. Pe baza unei scheme cu condensatoare neegale în serie, se calculează curentul de descărcare. Este discutată apoi dezechilibrarea încărcării la condensatoare de defazaj în cazul deconectării unor baterii din ansamblul instalaţiei, în care caz condensatoarele sînt încărcate cu o tensiune continuă suprapusă tensiunii alternative. În privinţa străpungerilor ce pot proveni, se dau două exemple cu schemele corespunzătoare. Într-un caz este vorba de conectarea în paralel a unor condensatoare trifazice de tensiune medie prevăzute cu protecţie contra asimetriei, în celălalt caz se discută încărcarea unor condensatoare în serie şi deconectarea în sistemul monofazic. În ambele cazuri se demonstrează că bateria încarcă cu o tensiune de curent continuu, la care se suprapune tensiunea de curent alternativ din reţea.

În încheiere autorul menţionează dificultăţile întîmpinate pentru descoperirea cauzelor străpungerii condensatoarelor şi arderii rezistenţelor lor de descărcare şi dă pentru evitarea acestora, soluţia intercalării unor transformatoare de curent în anumite puncte ale instalaţiei.

Gh.C.

CZ 621.36 *Electrocăldură*

CZ 621.362.2/3–215.666.59

Heimke, G. şi Dressler, M. **Carcase pentru diode şi tiristoare** (dioden-und Thyristorge-häuse). In: ETZ-B **20**, nr. 22, nov 1968, p. 637—641.

Pentru carcasele necesare elementelor de construcţie din tehnica curenţilor tari se utilizează în prezent, în special, combinaţii din ceramică, Al_2O_3 ca izolant şi suport combinat cu bride metalice sudate la cald precum şi elemente metalice de trecere. În lucrare se prezintă modelele principale ale acestor carcase, precum şi detaliile lor de construcţie.

Prima tabelă arată superioritatea mecanică (presiune, încovoiere etc.) a Al_2O_3 faţă de porţelan, sticlă şi duroplastice. O primă condiţie necesară pentru realizarea pieselor descrise în lucrare a fost posibilitatea de sudură metalo-ceramică (rezistenţă mecanică 500 kp/cm^2). Sînt prezentate în primul rînd trei carcase caracteristice în formă de coif, arătîndu-se evoluţia din punct de vedere al dilataţiei metalelor faţă de ceramică, la care sînt sudate precum şi evoluţia materialelor de sudură şi a numărului sudurilor cu scopul reducerii acestei dilataţii. Un grafic arată dilatarea diferitelor aliaje de metale la diferite temperaturi în comparaţie cu dilatarea ceramicei Al_2O_3.

O dată cu creşterea curenţilor din semiconductoare (500A) au devenit necesare alte mijloace pentru evacuarea căldurii în scopul evitării unei supraîncălziri a cristalelor semiconductoarelor. Pentru rezolvarea acestei probleme s-au construit carcase plate, la care toate elementele metalice exterioare şi interioare sînt din cupru. Aici apare însă dezavantajul că prin repetarea efectului de încălzire-răcire ductilitatea cuprului cedează, suprafaţa sudurii devine fragilă şi rezistenţa ceramicei nu mai corespunde nici din punct de vedere mecanic nici electric. S-a trecut la sistemul, la care contactul termic şi electric cu placa semiconductoare şi cu corpul de răcire se realizează doar prin presiune mecanică, răcindu-se astfel cristalul din două părţi. Urmează alte şase figuri cu descrierile respective privind carcase pentru tiristoare de 250 respectiv 500 A. În încheiere se arată că a început să se construiască tiristorul cu comandă optică datorită faptului că s-a reuşit sudura orificiilor de safir cu aliaje de NiFe.

Gh.C.

CZ 621.38 *Dispozitive electronice*

CZ 621.382.3.001.3

Komar, V. V. **Funcţionarea transistorului saturat la un curent de sarcină de impuls** (Rabota nasîşcennovo tranzistora pri impulsnom toke nagruzki). În : Elektrotehnika, nr. 10, 1968, p. 39—41, 6 fig., 6 ref. bibl.

Se efectuează analiza proceselor fizice care au loc în regiunile pasive şi active ale bazei transistorului în cazul creşterii bruşte a curentului de colector. Prin rezolvarea ecuaţiilor de difuzie pentru baza pasivă cu presupunerea că pentru baza activă este valabilă metoda sarcinii, s-a obţinut o simplă formulă aproximativă pentru calculul vitezei de creştere maxim-admisibile a curentului de colector în cazul unui transistor aliat. Pentru transistorii cu derivă s-a obţinut o formulă pentru calculul amplitudinii maxim-admisibile a impulsului de curent pe colectorul transistorului, în funcţie de durata impulsului. Calculele s-au efectuat pentru cazul conectării transistorului într-un etaj cu emiterul comun. S-a considerat că în regimurile analizate transistorul nu iese din saturaţie.

În cadrul analizei efectuate, autorul a considerat regiunea dintre joncţiunile de emiter şi colector ale transistorului ca o regiune activă a bazei, iar regiunea dintre baza activă şi contactul bazei — ca pasivă. S-a presupus, de asemenea, că în regimul de amplificare sarcina se acumulează numai în regiunea activă, iar în regim de saturaţie — numai în regiunea pasivă. Curentul bazei s-a considerat ca fiind un curent de recombinaţie. Baza pasivă s-a presupus a fi unidimensională şi semiinfinită.

Pe baza formulelor şi graficelor obţinute în lucrare se propune o metodă de calcul a regimului de sarcină al transistoarelor saturate, atît pentru cele aliate, cît şi pentru cele cu derivă.

Metoda expusă în articol ţine seamă de apariţia unui impuls parazit pe colectorul transistorului cu derivă, în cazul trecerii unui curent de impuls prin sarcină.

Sînt prezentate date ale investigaţiilor experimentale, care confirmă justeţea analizei efectuate şi a rezultatelor teoretice obţinute.

A.S.

CZ 621.382.3 ;536.251

Belokopitov, M. M. ş.a. **Rezistenţa termică dintre carcasa transistorului şi radiator** (Teplovoie soprotivlenie mejdu korpusom tranzistora i radiatorom). În : Radiotehnika, vol. **23**, nr. 11, 1968, p. 90—91 , 1 tab., 4 ref. bibl.

Problemele legate de rezistenţa termică R_T, dintre carcasa transistorului şi radiatorul lui, sînt extrem de sumar tratate în literatura de specialitate. La transistoarele ce se fabrică în prezent rezistenţa termică dintre joncţiune şi carcasă nu este de regulă mai mică de 2°C/W şi din această cauză rezistenţa termică dintre carcasă şi radiator poate fi considerată ca fiind de o valoare mică, dacă nu depăşeşte 0,2°C/W.

Experienţele descrise în articol s-au efectuat cu transistoare de tipul P-211. Autorii au măsurat rezistenţa termică dintre carcasă şi radiator la un contact direct, precum şi în cazul cînd între carcasa transistorului şi radiator erau plasate materiale dielectrice. Datele rezultate din calcule şi experienţe au coincis satisfăcător. Atît investigaţiile teoretice, cît şi cele experimentale au demonstrat că la un contact direct, între carcasă şi radiator, rezistenţa termică are o valoare de cinci ori mai mare decît cea dorită, adică 0,2°C/W. Rezistenţa termică dintre carcasa transistorului şi radiator poate fi însă redusă la valoarea de 0,2°C/W prin folosirea materialelor dielectrice. În majoritatea cazurilor, cînd colectorul transistorului este legat electric de carcasă, materialul dielectric o izolează pe aceasta din urmă de radiator din punct de vedere electric.

Pentru circuitele care operează la frecvenţe înalte este necesar ca între carcasă şi radiator valoarea capacităţii să fie mică, iar factorul ei de calitate să aibă valoare mare. Autorii au efectuat măsurări ai parametrilor menţionaţi, la frecvenţa de 0,05—8 MHz. Valorile maxim măsurate ale lui C au fost de 180 nF, iar valoarea maximă a factorului de calitate nu a depăşit cifra de 180.

A.S.

CZ 621.382.333.34

Vaganov, V. I. şi Gusakov, V. M. **Caracteristicile statice ale tetristorului** (Statisceskie harakteristiki tetristora). În : Poluprovodnikovîie priborî i ih primenenie, vol. **19**, 1968, p. 129—155, 14 fig., 6 tab., 5 ref. bibl.

Se analizează aspectele principale ale teoriei tetristorului (binistorului) — un nou element semiconductor de siliciu cu patru electrozi — care faţă de tiristor are o serie de avantaje datorită existenţei unui electrod suplimentar al bazei n_1. Acest fapt, care determină o sporire a posibilităţilor logice de comandă, este însoţit şi de o creştere substanţială a coeficientului de amplificare al acestui element.

Autorii au efectuat o analiză a schemei echivalente a tetristorului pentru semnal mare, care conduce la expresii ce leagă între ele curenţii prin joncţiuni cu tensiunile de pe ele. Sînt prezentate relaţii analitice ale caracteristicilor de ieşire (în formă de S) şi de intrare (în formă de N) ale tetristorului ca funcţii ai parametrilor fizici ai structurii pnpn şi ai curenţilor celor două baze în timpul acţiunii lor simultane. În urma analizei efectuate s-au obţinut expresii ale funcţiilor $\alpha_n = f(I)$ şi $\alpha_p = f(I)$ determinate de parametrul caracteristic I^*, căruia i s-a dat o interpretare fizică simplă.

S-au obţinut expresii ale caracteristicilor electrice de amorsare şi stingere ca funcţii ai parametrilor fizici ai structurii pnpn şi ai curenţilor ambelor baze în timpul acţiunii lor simultane.

În urma investigării caracteristicilor de comandă ale tetristorului s-au obţinut relaţii pentru evaluarea sensibilităţii elementului la amorsare şi a coeficienţilor de amplificare în curent la stingere, în cazul cînd curenţii de comandă nu depind unul de altul.

Se propune o metodă de alegere a rapoartelor între parametrii fizici ai structurii pnpn pentru obţinerea caracteristicilor electrice dorite.

Se arată că dependenţa caracteristicilor tetristorului de temperatură este determinată destul de precis, dacă se ia în considerare doar influenţa temperaturii asupra coeficientului de amplificare în curent al structurii şi asupra rezistenţei ohmice de scăpări a joncţiunii centrale J_2.

Rezultatele teoretice s-au verificat experimental cu elemente reale cu structura pnpn. Compararea datelor teoretice cu cele experimentale a demonstrat că deosebirile dintre ele nu depăşeau 20%.

A.S.

CZ 628.9 *Tehnica iluminatului*

CZ 628.972 :621.32

Dourgnon, I. **Repartiţia iluminării într-un punct** (Répartition de la lumière en un point). În : Revue Générale de l'Électricité, tom **77**, nr. 11, 1968, p. 1 037—1 045, 18 fig., 7 ref. bibl.

Se cercetează mijloacele care permit definirea repartizării iluminării într-un punct, ţinîndu-se seamă de parametrii care intervin în spaţiul considerat. În acest scop se introduce noţiunea de receptor generalizat. Strălucirea surselor naturale sau artificiale se stabileşte pe baza răspunsului obţinut de la o serie, de asemenea receptoare tip.

După prezentarea aspectelor generale legate de iluminarea unui punct din spaţiu, atît sub aspect teoretic, cît şi practic se trece la examinarea densităţii vectorului iluminării.

Se examinează apoi repartizarea iluminării pe diverse obiecte, insistîndu-se atît asupra luminii naturale, cît şi mai ales asupra iluminatului electric.

Autorul face consideraţii asupra premiselor teoretice de determinare a iluminării unui punct pe corpuri de diverse forme. Recomandările teoretice şi practice ating un grad de generalitate util practicii de proiectare.

A.C.

CZ 628.977.2 + 697.9 :725.23

Wald, A. **Instalaţii combinate de iluminat şi de condiţionare a aerului în marile imobile** (Integrierte Licht und Klimaanlagen für Grossbauten). În : ETZ-A, t. **89**, nr. 24, 1968, p. 669—674, 16 fig., 3 tab., 18 ref. bibl.

Se trec în revistă instalaţiile tehnice pentru soluţionarea adecvată a iluminatului electric şi a condiţionării aerului din marile imobile. Se fac consideraţii asupra iluminatului electric, ţinîndu-se seamă de tendinţa manifestată pe plan mondial în acest domeniu. Nu se neglijează nici problemele legate de condiţionarea aerului. Autorul insistă asupra unei soluţii combinate care să rezolve favorabil atît iluminarea clădirilor, cît şi condiţionarea aerului. Se fac comentarii privind asigurarea iluminării necesare pe suprafaţa planului de lucru şi se insistă asupra diverselor tipuri de lămpi cu fluorescenţă. Soluţiile practice sînt comentate critic arătîndu-se avantajele şi dezavantajele, care se reflectă pe plan social. Exemplificările au la bază realizările mai deosebite din Germania şi S.U.A. De remarcat că se fac referiri atît la reţeaua de alimentare cu energie şi aer condiţionat, cît şi la puterile totale şi specifice necesare în cazul clădirilor de mare capacitate.

A.C.

CRONICĂ

A XII-a sesiune de comunicări ştiinţifice a Institutului politehnic „Gh. Gheorghiu-Dej"

În zilele de 29—31 mai 1969 a avut loc sesiunea de comunicări a cadrelor didactice din Institutul politehnic „Gh. Gheorghiu-Dej" dedicată aniversării a 25 de ani de la eliberarea patriei.

Lucrările sesiunii ştiinţifice s-au desfăşurat pe cuprinsul a XXXIII de secţii de specialitate în care s-au prezentat un număr de 584 lucrări cuprinse în programul tipărit şi o serie de lucrări suplimentare.

În domeniul electrotehnic s-au prezentat următoarele lucrări:

Răduleţ, R. şi *Ifrim, A.* Calculul forţei motorului liniar cu indusul în formă de lame;

Antoniu, I. S. şi *Leon, M.* O nouă metodă de determinare a puterilor într-un regim electroenergetic deformant;

Timotin, A. şi *Ciric, I.* Unicitatea soluţiilor şi calculul puterilor în cîmpul electromagnetic cvasistaţionar cu simetrie axială;

Ţugulea, A. şi *Timotin, A.* Cîmpul magnetic în transformatoare cu ecrane electromagnetice;

Timotin, A. şi *Alexandru, N.* Asupra repartiţiei cîmpului magnetic axial la suprafaţa dinţilor de la extremitatea statorului;

Preda, M. O formulă topologică a transmitanţelor circuitelor nereciproce;

Fränkel, D. (I. P. Timişoara). Observaţii privind forţele ce se exercită asupra conductoarelor metalice în cîmp electric şi magnetic în regim staţionar;

De Sabata, I. (I. P. Timişoara) şi *Lăpuşan, V.* (I. P. Timişoara). Teorema superpoziţiei şi reciprocităţii în cîmpuri Hall din sonde plasate transversal în cîmpuri magnetice omogene şi invariabile;

Daba, D. (I. P. Timişoara) şi Uwe Grün (I. P. Timişoara). Teorema refracţiei liniilor de cîmp în medii semiconductoare cu efect Hall;

Sonea, P. Mişcarea particulei omogene de metal în arcul electric de sudură tratat cu oscilaţii ultrasonore;

Stănciulescu, F. Difuzia şi adîncimea de pătrundere a cîmpului magnetic în feromagnetici neliniari;

Cividjian, G. (Universitatea Craiova). Inductanţa de dispersie a spirei ecran (partea frontală).

Iordăchescu, V. Contribuţii la teoria undelor de sarcină spaţială în unele instalaţii de microunde;

Barbu, I. (I.C.P.E.). Consideraţii privind rezolvarea ecuaţiilor a încălzirii cu coeficienţi variabili cu ajutorul calculului operaţional;

Mocanu, C. Regimul tranzitoriu pelicular al cîmpului electromagnetic în conductoare;

Timotin, A. şi *Vasiliu, M.* Asupra parametrilor tranzitorii ai liniilor multifilare în prezenţa solului;

Timotin, A. Teoria simplificată a bobinei cu pierderi suplimentare cu înfăşurare într-un strat şi capacitate parazită faţă de miez;

Ciric, I. Studiul experimental al levitaţiei electromagnetice a conductoarelor sferoidale.

În domeniul maşinilor electrice a măsurilor şi aparatajelor electrice s-au comunicat următoarele lucrări:

Bîlă, A., Moraru, A., Timotin, A şi *Ţugulea, A.* Reducerea pierderilor suplimentare în bobinele Petersen SE 2600 hVAr fabricate de IDEB;

Niculescu, D., Crăciunescu, A. şi *Bucurenciu, S.* Grafurile de transfer ale transformatorului electric.

Hortopan, Gh. Relaţii noi privind încălzirea contactelor electrice;

Dinculescu, P. Contribuţii la studiul electromagneţilor de curent alternativ monofazat;

Natraşevschi, A. (I. P. Timişoara). Metodă şi instalaţie pentru ridicarea curbei cîmpului în regim dinamic cvasistaţionar.

Biro, K. (I. P. Cluj) şi Adrian, V. (I. P. Cluj). Determinarea inductanţei de scăpări statorice la maşinile de inducţie cu rotorul în scurtcircuit;

Călianu, D. (I. P. Galaţi). Asupra caracteristicii forţă-alunecare la motorul asincron cu mişcare liniară;

Bucurenciu, S. şi *Crăciunescu, A.* Folosirea metodelor de transfigurare la calculul circuitelor de ventilaţie ale maşinilor electrice;

Niculescu, E. (U.M.E.B.). Contribuţii la reglarea turaţiei motoarelor asincrone prin variaţia frecvenţei reţelei de alimentare;

Cota, A. (U.M.E.B.). şi *Galan, N.* (I. P. Bucureşti). Elemente de proiectare pentru transformatorul folosit la încălzirea prin inducţie;

Crăciunescu, A. şi *Bucurenciu, S.* Calculul prin similitudine al amplificatorului magnetic folosit la comanda servomotoarelor de c.c.;

Micu, E. (I. P. Braşov). Funcţia de transfer a motorului sincron cu turaţie ajustabilă prin modificarea frecvenţei tensiunii de alimentare;

Apetrei, C. Optimizarea parametrilor caracteristici sistemelor de excitaţie ale maşinilor electrice;

Raicu, V. Fluxurile de dispersie în maşinile electrice cu poli gheară;

Nedelcu, V. N. O nouă teorie a maşinii sincrone reactive;

Galan, N. Alimentarea nesimetrică a motorului cu histerezis;

Szabo Wilibald (I. P. Braşov). Punţi cu comparator de curent pentru măsurarea pierderilor magnetice în tole;

Ionescu, M. O metodă de optimizare aplicată în studiul sensibilităţii maxime a punţilor de măsurare alimentate în curent alternativ.

Manolescu, P. Studiul asupra funcţionării transformatorului de curent în regim tranzitoriu de supracurent;

Simon, E., Mîndru, Gh., Nicula, O. şi *Gligor, T. D.* (I. P. Cluj). Determinarea duratei de viaţă la condensatoarele de impuls; în alte secţii de specialitate s-au prezentat o serie de lucrări cu aplicaţii în electrotehnică după cum urmează:

Popa, A. Contribuţii la stabilirea consumului de energie al locomotivelor electrice cu ajutorul calculatoarelor electronice cifrice;

Popa, A. şi *Carabuleà, A.* Algortim privind optimizarea electrificării căilor ferate cu ajutorul cercetării operaţionale şi a calculatoarelor electronice cifrice;

Potolea, E., Toader, C. şi *Tudose, M.* Calculul matricelor de impedanţă cu ajutorul teoriei grafului;

Cristescu, D. Fenomenul de descărcare parţială în încercarea cablurilor de înaltă tensiune;

Stănescu, I. D., Carabulea, A. şi *Gheorghe, A.* Algoritm privind optimizarea proiecătrii şi exploatării centralelor electrice;

Nemeş, M. (I. P. Timişoara). Unele aspecte ale propagării undelor pe linii electrice legate de uniformitatea deschiderilor.

La sesiunea de comunicări ştiinţifice a I. P. Bucureşti s-au prezentat lucrări de cercetare originale, dintre care numeroase sînt lucrări pentru deservirea producţiei sau în colaborare cu unităţile de cercetare şi proiectare din producţie.

Sesiunea a constituit o ocazie potrivită pentru un schimb util de informaţii ştiinţifice între cadrele didactice şi între aceste cadre şi specialiştii din producţie.

Toate aceste aspecte atestă că cea de-a XII-a sesiune de comunicări ştiinţifice este un omagiu dedicat celei de-a XXV-a aniversări a eliberării patriei noastre.

Ing. *A. Carabulea*

TITLURI DOCUMENTARE

CZ 621.313 MAŞINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU ŞI ALTERNATIV. GENERATOARE. MOTOARE.

CZ 621.313.025.3 – 752. 2

Lorenzen, H. W. **Oscilaţii proprii cu amplitudine crescîndă a maşinilor asincrone trifazate.** În : Revue Brown Boveri, **55**, nr. 10/11, 1968, p. 650—664, 7 fig., 2 tabl., 18 ref. bibl.

CZ 621. 313.043. 045

Maier, F. **Calculul inductanţelor de comutaţie a înfăşurărilor indusului.** În : Revue Brown Boveri, **55**, nr. 10/11, 1968, p. 569—584, 6 fig. 9 tabl., 12 ref. bibl.

CZ 621.313.2

Meister, J. şi *Renold, R.* **Calculul circuitelor electrice a noii serii de motoare de curent cotntinuu.** În : Revue Brown Boveri, **55**, nr. 10/11, 1968, p. 611—618, 6 fig., 5 ref. bibl.

CZ 621. 313. 2. 045.2

Wark, K. **Înfăşurările utile în palier şi alte măsuri pentru a mări utilizarea maşinilor de curent continuu.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-A), **90**, nr. 3, 31 ian 1969, p. 64—68, 7 fig., 10 ref. bibl.

CZ 621.313.3

Sperling, P. G. **Funcţionarea unui motor de inducţie trifazat la căderea unei faze.** În : Siemens Z. **43**, nr. 2, 1969, p. 106—112, 5 fig. 6 ref. bibl.

CZ 621.313.3.025.3.042.4

Frohne, H. şi *Seinsch, H. O.* **Corelaţia dintre excentricitatea rotorului şi tensiunea de măsură în cazul unui dispozitiv pentru controlul întrefierului.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-A), **90**, nr. 2, 17 ian 1969, p. 38—43, 4 fig. 4 ref. bibl.

CZ 621.313.3.042.4.

Frohne, H. şi *Seinsch, H. O.* **Măsurarea poziţiei în spaţiu a excentricităţii rotorului maşinilor cu cîmp turnat.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-A), **90**, nr. 3, 31 ian 1969, p . 55—57, 5 fig. 3 ref. bibl.

CZ 621.313.32.013.8.621.382.2.

Blumschein, E. **Protecţia la supratensiune a redresorilor de excitaţie pentru maşini sincrone.** În : Elektrie, **23**, nr. 1, 1969, p. 20—21, 3 fig. 9 ref. bibl.

CZ 621, 313, 322 – 81.013.8

Schnisky, W. **Eficacitatea diferitelor metode de dezexcitare pentru turboalternatoare sub aspect modern.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-A) **90**, nr. 2, 17 ian 1969, p. 34—38, 3 fig., 2 tabl., 6 ref. bibl.

CZ 621.313.323.

Brüderlink, M. **Motoare sincrone fără inele.** În : Revue Brown Boveri, **55**, nr. 10/11, 1968, p. 626—631, 7 fig., 2 ref. bibl.

CZ 621.315 TRANSMISIA ENERGIEI ELECTRICE. LINII AERIENE. CABLE. CONDUCTOARE. MATERIALE IZOLANTE. MATERIALE DE INSTALAŢII.

CZ 621.315.2 : 537.312.62.06

Kafko, W. **Proiectul unui cablu supraconductor trifazat.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-A) **90**, nr. 5, 28 feb 1969, p. 89—92, 5 fig. 2 tabl., 9 ref. bibl.

CZ 621.315.615 2.001.4. 543.841

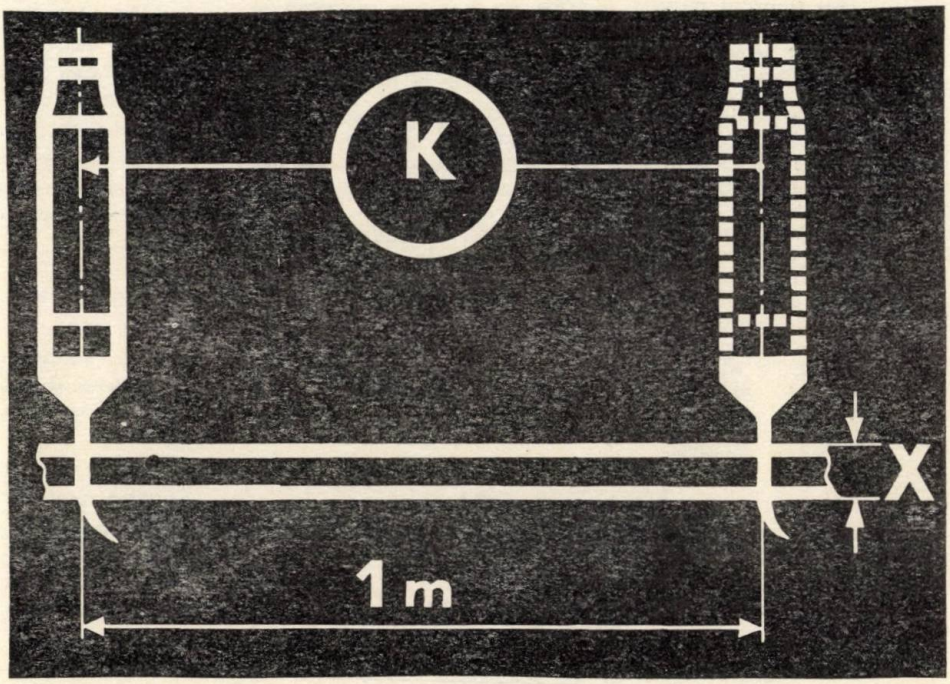
Stoll, P. şi *Vuilleumier, C.* **Metodă cromatografică pentru determinarea inhibitorilor în uleiuri din transformatoare.** În : Elektrotech. Z (ETZ-A), **90**, nr. 8, 11 apr 1969, p. 176—179, 5 fig., 3 tabl. 7 ref. bibl

Comparaţi preţurile de cost la tăiere

Încercări întreprinse pe scară largă în vederea folosirii în industrie a instalaţiilor de tăiere prin topire, cu plasmă, Kjellberg-PA 20, au demonstrat că se pot obţine avantaje substanţiale nu numai la debitarea materialului care nu se poate tăia autogen, ci şi la tăierea prin topire a oţelurilor de construcţie. Consum extrem de scăzut la oxigen şi argon, necesar de energie electrică redus, precum şi viteză mare de tăiere, acestea sînt caracteristicile pregnante ale instalaţiei Kjellberg.

Calitatea excepţională de tăiere permite, pe lîngă debitări normale, tăieri de contur, tăieri oblice, tăieri în pachet, aşchieri „flotante", retezări la piese, precum şi îndepărtări ale rosturilor deja tăiate.

Verificaţi tehnica Dv. de tăiere şi cereţi consultaţii din partea noastră.



Kjellberg
FINSTERWALDE

KJELLBERG ELEKTRODEN&MASCHINEN GMBH IN VERW.
DDR 798 FINSTERWALDE
DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

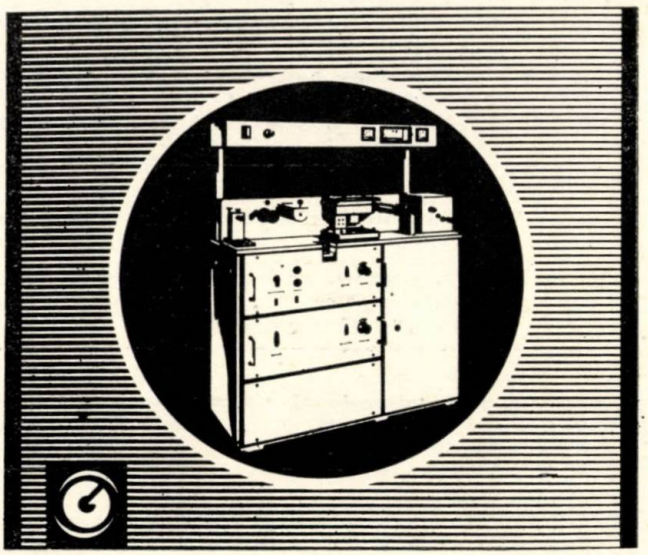
Exportator:

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR 104 BERLIN CHAUSSEESTRASSE 111/112

Cei interesaţi se pot adresa la:
Biroul Tehnic-Comercial
AHB Elektrotechnik Export-Import
Ambasada R.D.G. din R. S. România
Cal. Dorobanţilor 14 — Bucureşti

Sîrme foarte subțiri

din wolfram sau molibden cu trefilări variate la cald



O nouă posibilitate pentru acoperirea economică a cerințelor crescînde în industria electrotehnică.

Cu ajutorul mașinii noastre de trefilare ultrafină și variată G 11—12 combinată cu cunoscuta mașină de trefilare UDZWGW VIII/8.

Cea mai modernă tehnologie actuală cu cel mai mare efect de raționalizare.

Noua mașină lucrează după principiul glisant cu șase dimensiuni de trefilare, pentru trefilarea la cald cu diametrele cuprinse între 0,065 și 0,020 mm. Față de vechiul sistem cu operațiuni separate, acestea reprezintă o sporire a producției de 2—3 ori. Trebuie luată în considerare economia de spațiu ce se realizează în acest fel și reducerea numărului de brațe de muncă necesare. Prin montarea în serie a acestor mașini se realizează asemenea avantaje.

Perfecționați și dv. fabricația celor mai fine sîrme de wolfram și molibden, pentru a corespunde celor mai noi cerințe ale tehnicii. Pentru informații detaliate vă rugăm să vă adresați cu indicativul ku 40/69.

VEB Spezialmaschinenbau Gornsdorf DDR — 9163 Gornsdorf /Erzgeb.

Informații în țară :
Ambasada R.D.G. din
Republica Socialistă România
Secția Invest Export
Calea Dorobanților nr. 14
București

INVEST EXPORT

Volkseigener Aussenhandelsbetrieb
der Deutschen Demokratischen
Republik DDR — 108 Berlin,
Taubenstrasse 7—9
Telegramm : DIAINVESTA
Telex : 011 2695 diai dd
Republica Democrată Germană

Publicom

WACKER

Siliconi

pentru industria electrotehnicâ

Uleiuri siliconice

Își păstrează proprietățile, aproape neschimbate, într-o gamă mare de temperatură și frecvență, ca viscozitatea, rigiditatea dielectrică, factor de pierderi mic, rezistență specifică și punct de aprindere ridicate. Ele se întrebuințează ca material izolant care nu absoarbe apă pentru construcția de izolatoare, ca agent răcitor pentru tuburile amplificatoarelor, ca lichid de umplere pentru transformatoare mici și condensatoare, ca mediu amortizor în relee și regulatoare, cum și în subansambluri electronice.

Paste siliconice

Se întrebuințează pretutindeni unde există condiții extreme de temperatură și climatice. Ele se folosesc ca paste de izolare, acoperire și separare cu straturi care nu absorb umezeală, precum și ca masă suport pentru cristale.

Siliconi lubrifianți

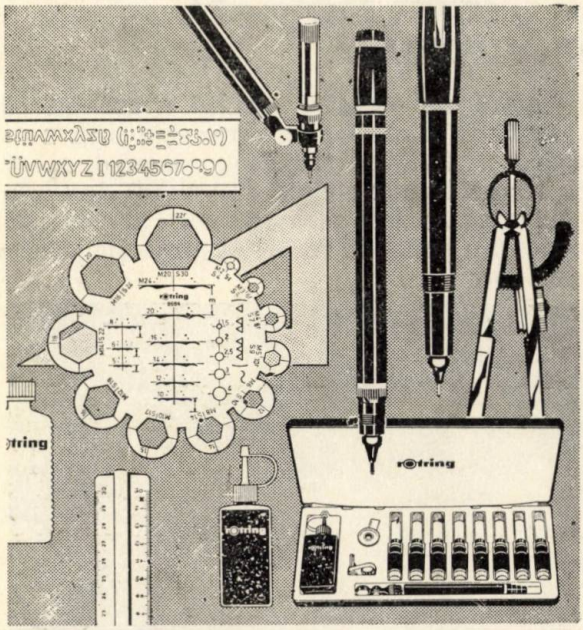
Sînt indicați pentru lubrifiere la temperaturi înalte și joase de la +250 la −60°C. Se întrebuințează în motoare electrice care funcționează în condiții de temperaturi extreme, ca de exemplu în instalațiile de ventilație și uscare, pentru lubrifierea antenelor de radio și radar și în numeroase alte cazuri.

Vă stăm la dispoziție cu consultații, și materiale documentare.

WACKER

WACKER-CHEMIE GMBH

8 Müchen 22, Postfach 1
Republica Federală a Germaniei



rotring
macht das Zeichnen leichter

Pe baza renumitului Tintenkuli a fost dezvoltat stiloul cu tuş Rapidograph, primul stilou cu tuş din lume, cu sistem tubular şi mecanism cu piston, pentru desen tehnic, cu 10 grosimi de linii de la 0,1 la 1,2 mm. Sistemul schimbabil Variant contribuie la o mai bună raţionalizare a lucrărilor de desen. Pot fi realizate 10 grosimi de linii de la 0,1 pînă la 1,2 mm folosind un singur suport.

Pentru scrierea curată şi exactă, rotring oferă un sistem variabil Varioscript pentru 16 mărimi de litere, de la 1,4 la 20 mm.

Special pentru desenul pe material plastic a fost confecţionat stiloul cu tuş Foliograph pe baza sitemului interschimbabil, cu vîrf de safir, pentru 8 grosimi de linii de la 0,15 la 1,2 mm. De asemenea a fost adoptat pentru tuşuri dizolvante de folii şi solubile în apă.

Cu rotring se poate desena mai uşor — mai repede — — mai raţional !

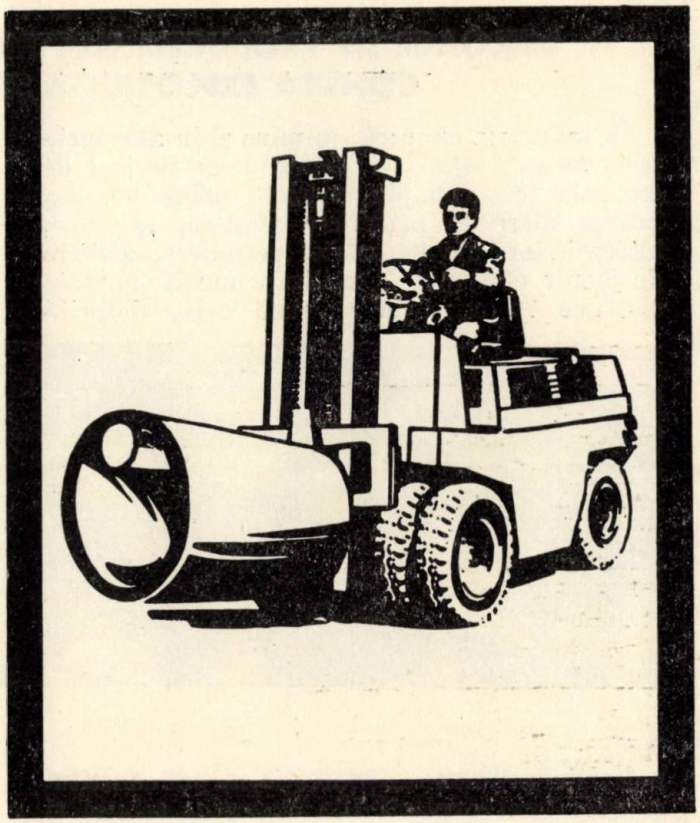
- Asigură o durată lungă de funcţionare datorită vîrfurilor tubulare rezistente la uzură
- Uşurează alegerea grosimii necesare
- Trasează linii uniforme cu margini bine definite
- Asigură lucrări curate
- Are un rezervor de tuş de mare capacitate
- Se reîncarcă în mod simplu
- Se poate curăţa uşor

O vastă gamă de instrumente de desen indispensabile, în cazurile în care se cere o înaltă precizie : stilou de tuş, tuş de desen, şablon de scris şi desenat, linii, echere, compasuri.

RIEPE — WERK 2 Hamburg — 54
POSTFACH 13 529
REPUBLICA FEDERALĂ A GERMANIEI

Vă rugăm cereţi prospecte!

PUBLICOM



BALKANKAR
oferă
CĂRUCIOARE

elevatoare cu motor termic, în consolă, pentru înălţime de ridicare mare, cu sarcină nominală de la 1000 la 5000 kgf şi înălţimea de ridicare de 4500 mm

— cu motor Diesel sau motor cu benzină
— cu transmisie mecanică sau hidraulică
— cu servodirecţie hidraulică pentru o sarcină nominală de la 3000 la 5000 kgf.

BALKANCAR furnizează
o gamă largă de dispozitive amovibile pentru manipularea diferitelor tipuri de sarcini

Informaţii detaliate şi oferte :
BALKANCARIMPEX Sofia Bulgaria

balkancar

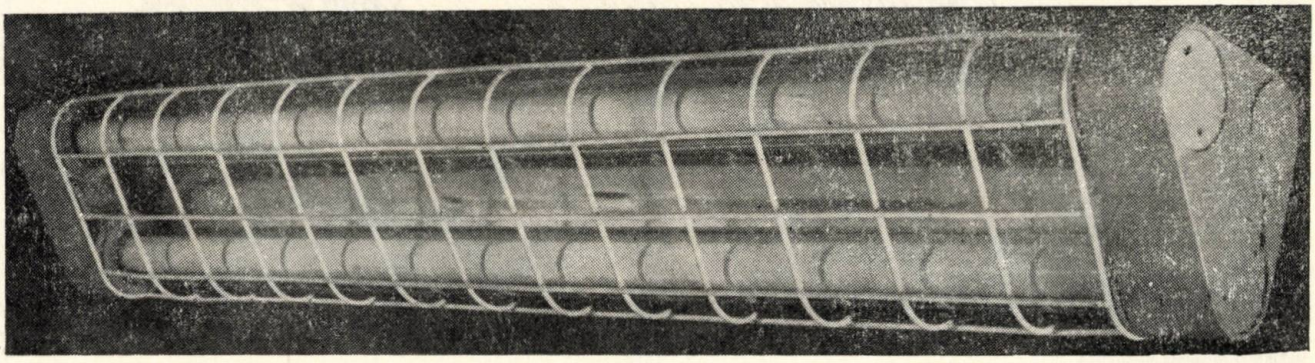
PUBLICOM

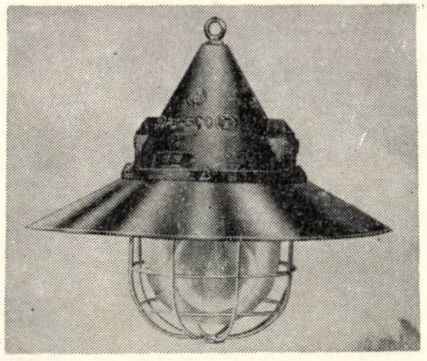
MIJLOACE DE PRODUCȚIE ELECTRICE ÎN EXECUȚIE PROTEJATĂ CONTRA EXPLOZIILOR ȘI ANTIGRIZUTOASĂ

În industria chimică, în mine și în alte încăperi de exploatare și depozite cu pericol de explozie (de exemplu cocserii, uzine de gaz, întreprinderi de materiale plastice, rafinării, întreprinderi ale industriei petroliere, ateliere de lăcuit etc.) pot fi utilizate numai aparate electrice în execuție specială care, datorită măsurilor prudente de protecție, nu pot constitui cauzele unei explozii (de exemplu, scîntei și arcuri electrice, conductoare încălzite, scîntei mecanice etc.). Mijloacele noastre de exploatare Sch și Ex corespund întocmai acestor condiții, ele fiind construite și încercate conform prescripțiilor și standardelor VDE, IEC, TGL și DIN. Produsele noastre sînt executate, în cea mai mare parte, în categoriile de protecție : „capsulate contra presiunilor și siguranță mărită", „siguranță mărită" sau „protecție specială".

Toate aparatele noastre cu anumite excepții sînt admise pentru grupa maximă de aprindere (G5) și, în execuție capsulată contra presiunilor, pentru categoria maximă de explozie (3n). Astfel, este posibilă utilizarea lor în încăperi cu pericol de explozie cu orice fel de gaze și vapori.

În afară de aceasta, rezultă avantajul că, în cazul modificărilor în producție prin încadrarea acesteia într-o grupă superioară de aprindere, respectiv într-o clasă superioară de explozie, nu este necesară o transformare a instalației electrice din punct de vedere al protecției contra exploziilor.

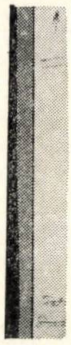


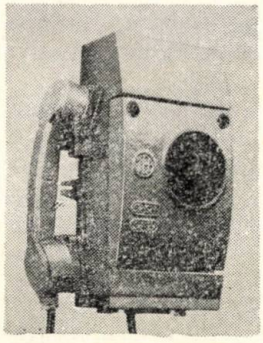


Programul nostru de fabricație a aparatelor Sch și Ex se compune din :

— corpuri de iluminat pentru lămpi cu incandescență, cu vapori de mercur și pentru lămpi fluorescente ;

— întreruptoare și aparataj de conectare de joasă tensiune pînă la 200 A și 500 V ;





— material de instalații, ca : doze de derivație pînă la 25 mm², prize etc. ;

— accesorii și piese de schimb pentru aparataj Sch și Ex.

Toate produsele noastre posedă un certificat de verificare emis de oficiile de verificare competente din Jugoslavia, de așanumita Comisie S din Zagreb, respectiv Laboratorul de încercări din Freiberg — R.D.G.

Exportator :
„ELEKTROTEHNA"
BEOGRAD — Karadordeva 71

Producător :
TEP — Tvornica elektrotehnichi proizvoda
ZAGREB — Vrapčě

JUGOSLAVIA

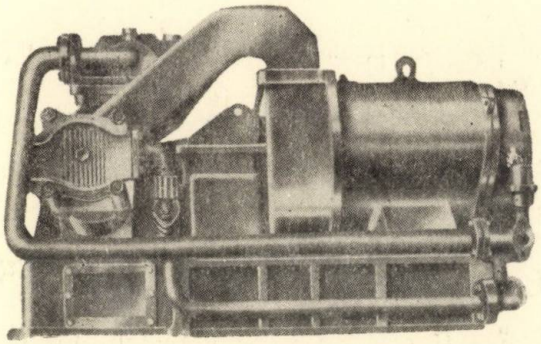
PUBLICOM

UZINA DE MOTOARE ŞI COMPRESOARE

Timpuri Noi

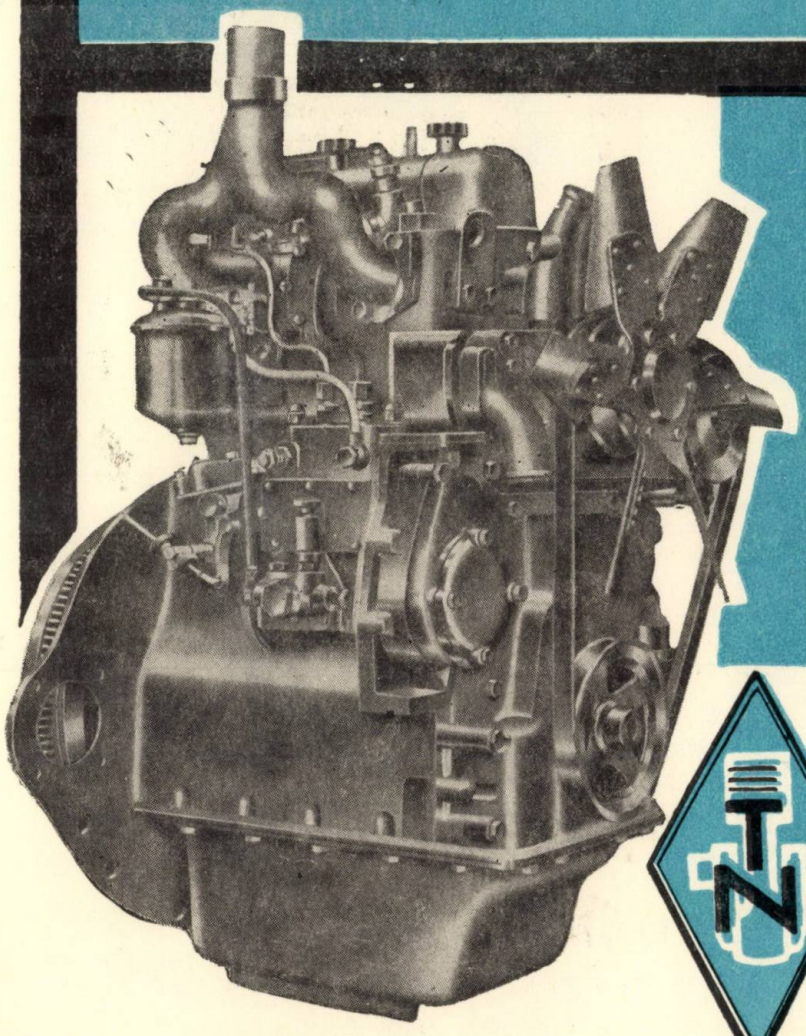
BUCUREŞTI

execută şi livrează în ţară şi străinătate:



Compresoare de aer cu piston, cu debite pînă la 10 m³/min şi presiuni de 4—14 kgf/cm² pentru:

- Locomotive
- Troleibuze
- Instalaţii petroliere
- Şantiere
- Excavatoare
- Garaje
- Automatizări
- Vopsitorii



Motoare diesel cu puteri pînă la 100 CP pentru:

- Utilaje de construcţii
- Utilaje pentru agricultură
- Pompe de uz general şi speciale
- Generatoare de c.a. şi c.c.
- Motoare şi motoridicătoare
- Ambarcaţiuni
- Utilaje pentru silvicultură

Pentru rezolvarea problemelor dv. privind antrenarea cu motoare diesel industriale şi utilizarea compresoarelor de aer cu piston – consultaţi specialiştii uzinei „Timpuri Noi".

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

DIN BUCUREȘTI. — BD. 1 VLADIMIRESCU 45-47 — TELEFON 31 41.00

Электротехнический Научно-исследовательский и Проектный Институт.

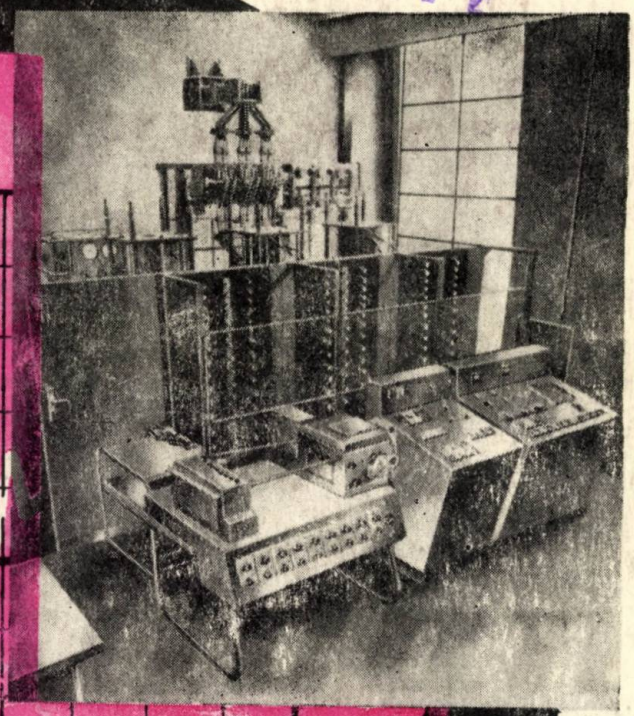
Electrical Engineering and Research Institute

Forschungs-und Projectierungsinstitut für die Elektroindustrie

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Électrotechnique

ICPE

1970 JAN 2 9



ICPE

Primește comenzi de cercetare și proiectare, cu profil electrotehnic.

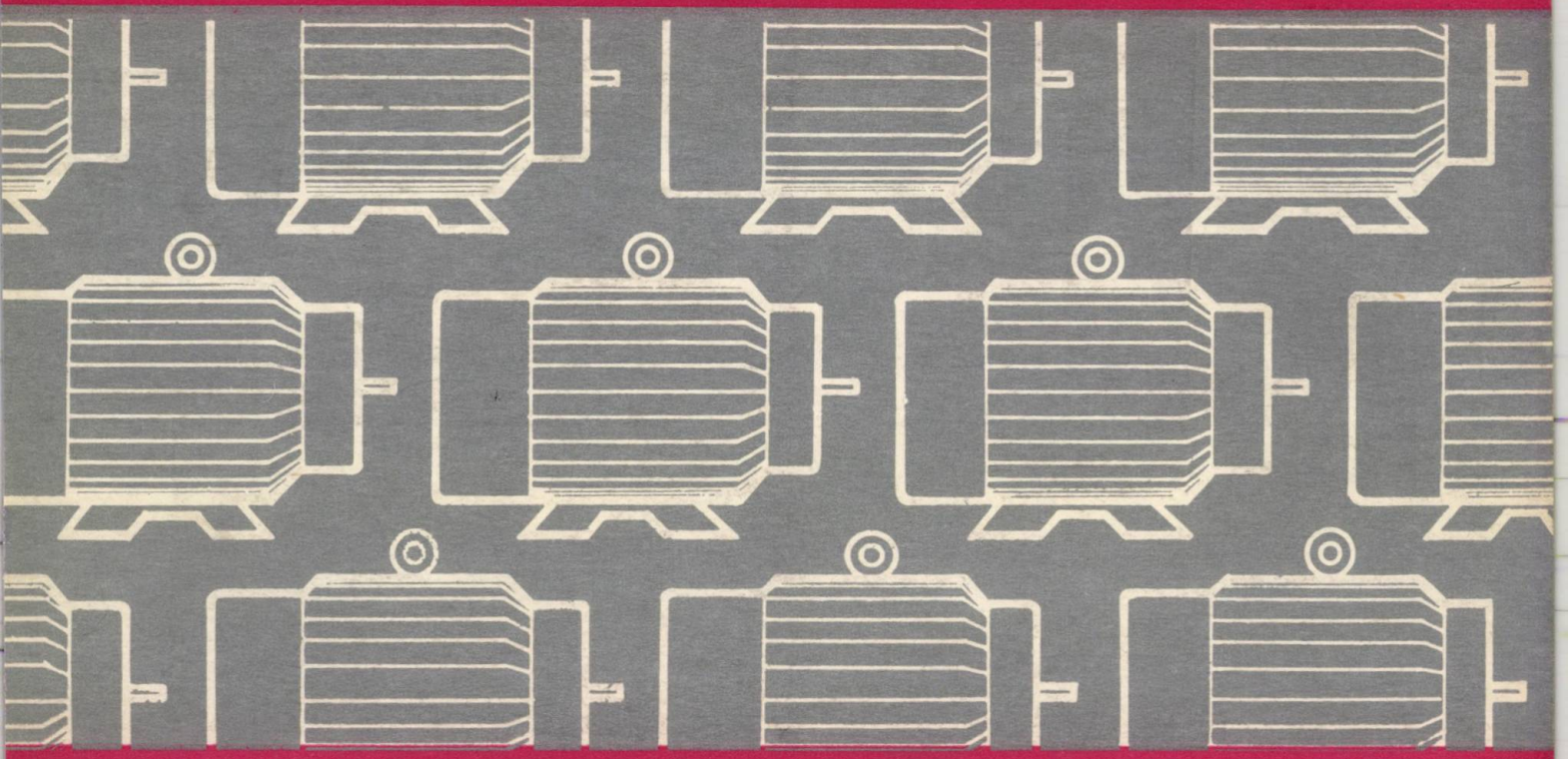
Institutul execută studii, încercări, omologări și prototipuri din domeniul mașinilor și transformatoarelor electrice, aparatelor de joasă și înaltă tensiune, acționărilor electrice, climatizării produselor industriale, calculelor cu mașini electronice, materialelor electrotehnice.

E 2040
9-04-001

R

ELECTROTEHNICA

REFERATIVA

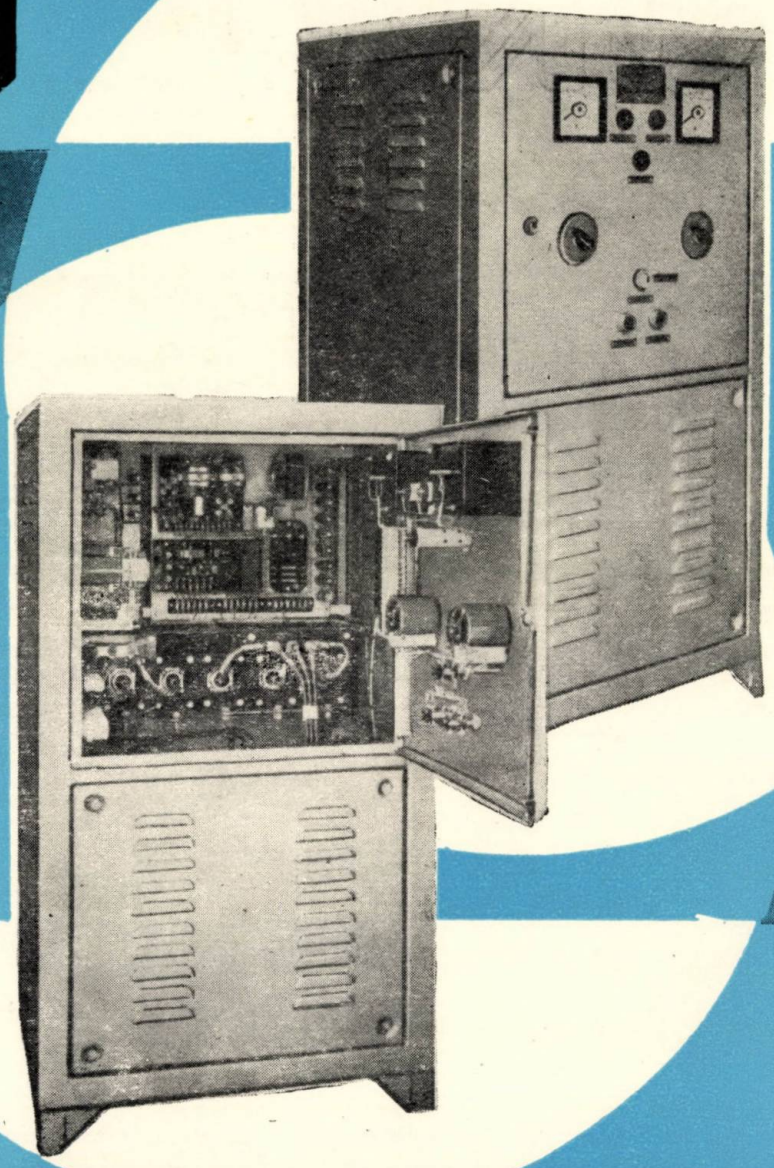


ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 17 • Nr. 10 • OCTOMBRIE 1969

10

electrotehnica

București • Sos. Orhideelor, nr. 27 • Tel. 16.48.60



REDRESOARE CU DIODE DE SILICIU PENTRU ÎNCĂRCAREA BATERIILOR DE ACUMULATOARE PENTRU ELECTROCARE

Încărcarea automată după curba IU
Comandă cu amplificatoare magnetice și transistoare
Tensiunea finală de încărcare reglabilă între 80 și 123 V
Curentul inițial de încărcare reglabil între 40 și 80 V

MŰSZAKI KÖNYVTÁR

ELECTROTEHNICA

Anul 17 nr. 10 pag. 369—404 octombrie 1969

CUPRINS

CZ 621.313.32.042.13.001.4/54

Nicolaide, A.: **Studiul experimental al cîmpului electromagnetic în piesele polare masive ale mașinilor sincrone.**

Electrotehnica **17**, nr. 10, oct 1969, p. 369—373

S-a studiat repartiția cîmpului electromagnetic în interiorul oțelului rotorului masiv în cazul distribuției sinusoidale a inducției magnetice în lungul circumferinței rotorului unei mașini bipolare. Apoi s-a analizat exactitatea diferitelor teorii cunoscute, referitoare la studiul propagării cîmpului electromagnetic în medii feromagnetice.

CZ 621.313.236.3.001.415

Hușanu, C.: **Încercările experimentale ale unei autodine.**

Electrotehnic a **17**, nr. 10 oct 1969, p. 373—380

Lucrarea prezintă rezultatele experimentale obținute pe un model de autodină, rezultate care confirmă posibilitatea obținerii unei comutatrici reglabile pe partea de curent continuu. Se evidențiază rolul înfășurărilor statorice și influența saturației, histerezisului și armonicilor superioare asupra preciziei de reglare, din care se pot trage concluzii privind proiectarea și construcția acestor mașini.

CZ 621.315 :614.64.017.143

Berinde Violeta și *Stănculescu, V.*: **Contribuții pentru determinarea pierderilor dielectrice la hîrtiile electroizolante.**

Electrotehnica **17**, nr. 10, oct 1969, p. 381—386

Se prezintă o metodă elaborată de I.C.P.E. în scopul determinării pierderilor dielectrice la hîrtiile electroizolante. Metoda propusă consideră datele actuale ale literaturii de specialitate și asigură prin tratarea individuală a epruvetelor o precizie și productivitate ridicată. Sînt prezentate comparativ date experimentale obținute pentru diferite sorturi de hîrtie pentru cabluri de forță. Lucrarea aduce unele contribuții într-un domeniu în care literatura de specialitate este relativ săracă, putîndu-se extinde și în alte domenii, cum este, de exemplu, acela al foliilor din mase plastice.

CZ 621.316.923.3.012.5

Barbu, I., Iancu Maria și *May Elena*: **Performanțele siguranțelor rapide cu fuzibile din argint fabricate de C.I.L.T.**

Electrotehnica **17**, nr. 10, oct 1969, p. 386—392

Se descriu performanțele siguranțelor fabricate la C.I.L.T. arătîndu-se îmbunătățirile tehnologice și constructive, care au dus la obținerea unei serii de parametri la nivelul actual cunoscut pe plan tehnic. Astfel, capacitatea de rupere depășește 16 kA, factorul de supratensiune este mai mic de 2,34, încălziri și pierderi reduse, I^2t mic etc.

Protecția instalațiilor electrice cu aceste siguranțe alese corespunzător este asigurată eliminîndu-se astfel distrugerile parțiale sau integrale ale acestora.

CZ 621.317.42.001.57 : 538.682

Șora, C.: **Asupra cîmpului electric Hall și variației tensiunii Hall de-a lungul plăcilor dreptunghiulare Hall.**

Electrotehnica **17**, nr. 10, oct 1969, p. 392—398

Se studiază cîmpul electric Hall în plăci dreptunghiulare plane și se dă o metodă de descompunere a cîmpului electric rezultant așa fel încît să se pună în evidență cîmpul electric Hall. Se determină cîmpul Hall în condiții pe frontieră simplificate.

RECENZII 399

REFERATE 401

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU ; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România ; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil ; ing. V. BUNEA ; ing. V. CIOFU ; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU ; ing. ȘT. GROSU ; prof. dr. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct ; conf. ing. G. LAZARIDE ; conf. ing. D. F. LĂZĂROIU ; ing. M. OPASCHI ; ing. A. POPA ; prof. ing. CRISTIANA POPESCU ; ing. VL. POPOVICI ; academician prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon redactor șef : 14.90.27. Redacția : București, str. Mândinești, nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacție : 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon : 16.21.70 interior 173. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 40060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi : lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri : lei 30 anual. Costul unui exemplar : lei 5. Tiparul : Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 3773. *Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 10/10257/1968*

41 400

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.313.32.042.13.001.4/54

Николаиде, А.: **Экспериментальное исследование электромагнитного поля в массивных полюсных башмаках синхронных машин.**

Electrotehnica **17**, № 10, окт 1969, стр. 369–373

Исследовано распределение электромагнитного поля внутри стали массивного ротора в случае синусоидального распределения магнитной индукции вдоль окружности ротора двухполюсной машины. Была проанализирована точность различных известных теорий в связи с изучением распространения электромагнитного поля в ферромагнитных средах.

ДК 621.313.236.3.001.415

Гуцану, К.: **Экспериментальные испытания автодина.**

Electrotehnica **17**, № 10, окт 1969, стр. 373–380

В статье приводятся экспериментальные результаты, полученные на модели автодина , результаты, подтверждающие возможность получения регулируемого преобразования со стороны постоянного тока. Подчеркивается роль статорной обмотки и влияние насыщения, гистерезиса и высших гармоник на точность регулировки, из которых можно сделать выводы относительно проектирования и конструкции этих машин.

ДК 621.315:614.64. 017.143

Беринде Виолета и *Стэнкулеску, В.:* **К вопросу определения диэлектрических потерь на электроизоляционных бумагах.**

Electrotehnica **17**, № 10, окт 1969, стр. 381–386

Излагается метод, разработанный I.C.P.E. с целью определения диэлектрических потерь в электроизоляционных бумагах. Предложенный метод учитывает актуальные данные технической литературы .обеспечивает, путем индивидуального рассматривания проб, высокую точность и продуктивность. Приводятся сравнительные экспериментальные данные, полученные для различных сортов бумаги, для силовых кабелей. Работа вносит некоторые разъяснения в область, в которой техническая литература довольно бедна, причем ее можно применять и в отношении других производств, как например, фольи из пластической массы.

ДК 621.316.923.3.012.5

Барбу, И., Янку Мария и *Май Елена:* **Показатели быстродействующих предохранителей с серебряной плавкой вставкой, изготовленных C.I.L.T.**

Electroteknica **17**, № 10, окт 1969, стр. 386–392

Описаны показатели предохранителей, изготовленных C.I.L.T. с указанием технологических и конструктивных усовершенствований, благодаря которым были получены параметры на уровне современной техники в мировом масштабе. Так, разрывная емкость превышает 16 ка, коэффициент перенапряжения меньше 2, 34, нагрев и потери ограничены, I^2t незначительный и пр.

Защита электрических установок при соответствующем выборе этих предохранителей обеспечена, устраняя таким образом частичное или полное их разрушение.

ДК 621.317.42.001.57.538 : 682

Шора, К.: **Об электрическом поле Галля и вариации напряжения Галля вдоль прямоугольных пластин Галля.**

Electrotehnica **17**, № 10, окт 1969, стр. 392–398

Исследовано электрическое поле Галля в плоских прямоугольных пластинах и приводится метод распада равнодействующего электрического поля с тем расчетом, чтобы выявить электрическое поле Галля. Определяется поле Галля в упрощенных граничных условиях

РЕЦЕНЗИЙ 399

ДОКЛАДЫ 401

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.313.32.042.13.001.4/54

Nicolaide, A.: **Ein Versuchsstudium des elektromagnetischen Feldes in den massiven Polteilen der Synchronmaschinen.**

Electrotehnica **17**, H. 10, Okt. 1969, S. 369–373

Man untersucht die Verteilung des elektromagnetischen Feldes innerhalb des massiven Rotorstahles im Fall einer sinusförmigen Verteilung der magnetischen Induktion längs des Rotorkreises einer zweipoligen Maschine. Ferner bespricht man die Genauigkeit der verschiedenen bekannten Theorien bzgl. der Untersuchung der Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes in ferromagnetischen Medien.

DK 621.313.236.3.001.415

Hufanu, C.: **Die Prüfungen einem Autodyn.**

Electrotehnica **17**, H. 10 Okt. 1969, S. 373–380

Die Arbeit zeigt die Versuchsresultate mit einem Autodynmodell, welche die Möglichkeit bestätigen, einen auf der Gleichstromseite regelbaren Stromwender zu erhalten. Hervorgehoben wird die Rolle der Statorwicklungen, der Einfluss der Sättigung, der Hysteresis und der höheren Harmonischen auf die Regelgenauigkeit, woraus dann Schlüsse bzgl. des Entwurfes und der Konstruktion dieser Maschinen gezogen werden können.

DK 621.315.614.64.017.143

Berinde Violeta und *Stănculescu, V.*: **Beiträge zur Bestimmung der dielektrischen Verluste bei Isolierpapieren.**

Electrotehnica **17**, H. 10, Okt. 1969, S. 381–386

Man bespricht eine von dem I.C.P.E. ausgearbeiteten Methode zur Bestimmung der dielektrischen Verluste bei elektroisolierenden Papieren. Die vorgeschlagene Methode verwendet die bestehenden Daten der Fachliteratur und sichert durch die individuelle Behandlung der Probestücke erhöhte Sicherheit und Produktivität. Vergleichsweise gibt man Versuchsdaten an, die für verschiedene Papiersorten der Starkstromkabel erhalten wurden. Die Arbeit bringt gewisse Beiträge auf einem Gebiet, auf dem die Fachliteratur verhältnismässig arm ist und könnte evtl. auch auf andere Gebiete, z.B. das für plastische Materialien übergreifen.

DK 621.316.923.3.012.5

Barbu, I., Iancu Maria und *May Elena*: **Die Leistungen der von C.I.L.T. erzeugten Schnellsicherungen mit Silberschmelzdraht.**

Electrotehnica **17**, H. 10, Okt. 1969, S. 386–392

Man beschreibt die Leistungen der bei C.I.L.T. erzeugten Sicherungen und zeigt dabei die technologischen und konstruktiven Verbesserungen, welche zur Erreichung einer Reihe von Parametern des heutigen technischen Standes führten. So, z.B., übertrifft die Reisskapazität 16 kA, der Ueberspannungsfaktor ist kleiner als 2,34, die Erwärmungen und die Verluste sind vermindert, dar I^2t ist klein u.s.w.

Der Schutz der elektrischen Anlagen mit diesen entsprechend gewählten Sicherungen ist gesichert und dadurch ihre teilweise oder gänzliche Zerstörung vermieden.

DK 621.317.42.001.57:538.682

Şora, C.: **Ueber das elektrische Hallfeld und die Aenderung der Hall-spannung längs der rechteckigen Hallplatten.**

Electrotehnica **17**, H. 10, Okt. 1969, S. 392–398

Man untersucht das Hallfeld in rechteckigen Platten und zeigt eine Methode zur Zersetzung des resultierenden Feldes derart dass das Hallfeld in Erscheinung tritt. Man bestimmt das Hallfeld in vereinfachten Grenzfällen.

BUCHSPRECHUNGEN 399

REFERATE 401

SMISZLAKI KÖNYVTÁR

1883

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 nr. 10 București, octombrie, 1969

Studiul experimental al cîmpului electromagnetic în piesele polare masive ale mașinilor sincrone

ANDREI NICOLAIDE* — Brașov

CZ 621.313.32.042.13.001.4/5

Mașinile sincrone cu piese polare masive au avantaje, care le fac utile în numeroase aplicații, de aceea construcția acestor mașini este destul de frecventă. Calculul caracteristicilor de funcționare în asincron a mașinii sincrone cu piese polare masive, prezintă o importanță mare, atît pentru motoare cît și pentru generatoare. Acest calcul presupune însă cunoașterea cît mai exactă a repartiției cîmpului electromagnetic în oțelul masiv al rotorului.

Există diferite metode de studiu teoretic al propagării undei electromagnetice plane în oțelul masiv. Acestea au fost analizate în lucrările [1] — [4]. Sînt însă foarte utile studiile experimentale ale repartiției cîmpului electromagnetic în interiorul pieselor polare masive, pentru a putea aprecia, prin compararea rezultatelor calculului cu rezultatele experimentale, care metodă teoretică de studiu este mai bună și mai adecvată cazului respectiv. Studii de acest gen nu au fost indicate în literatură și sînt relativ dificile de efectuat. În această lucrare se prezintă un astfel de studiu precum și rezultatele obținute în comparație cu rezultatele teoretice.

Metoda de analiză experimentală folosită

Repartiția cîmpului electromagnetic în oțel în cazul distribuției sinusoidale a undei inducției magnetice în lungul circumferinței rotorului s-a făcut pe un rotor cilindric masiv introdus imobil într-un stator de mașină asincronă bipolară; diametrul rotorului 112,03 mm, lungimea 150 mm. Introducerea rotorului în stator s-a făcut cu un întrefier cît mai mic posibil. În interiorul cilindrului masiv au fost practicate locașuri circulare în care s-au introdus bobine-sondă cu 100 spire fiecare și miezul de oțel al bobinei a fost de aceeași calitate ca a rotorului. Aceste bobine au fost dispuse într-un plan diametral al rotorului, astfel că au fost înlănțuite de componenta tangențială a cîmpului magnetic. Distanța de la axa primei bobine la suprafața rotorului este de 6 mm. Diametrul bobinei este de 7 mm. Distanța dintre axele a două bobine, măsurată în lungul razei este de 5 mm. Firele bobinei sînt scoase printr-o deschidere axială.

Pentru a face posibilă introducerea bobinelor sonde rotorul a fost secționat după un plan trecînd prin ax.

În figura 1 se poate vedea o fotografie a rotorului secționat și demontat.

În figura 2 se poate vedea o fotografie a ansamblului instalației experimentale.

Tensiunea la bornele bobinei-sondă este proporțională cu derivata în raport cu timpul a inducției magnetice. Existînd un regim de funcționare periodic, se poate obține ușor amplitudinea armonicii fundamentale a componentei tangențiale a inducției magnetice.

Componenta tangențială a intensității cîmpului magnetic la suprafața rotorului s-a măsurat cu o bobină foarte plată, cu dimensiunea radială de 0,65 mm de lungime egală cu lungimea rotorului și avînd 20 spire, așezată pe suprafața rotorului într-un loc unde există o mărire corespunzătoare a întrefierului, spre a permite introducerea bobinei. Metoda se bazează pe conservarea componentei tangențiale a inten-

* Dr. ing. *A. Nicolaide* este profesor la Institutul politehnic Brașov.

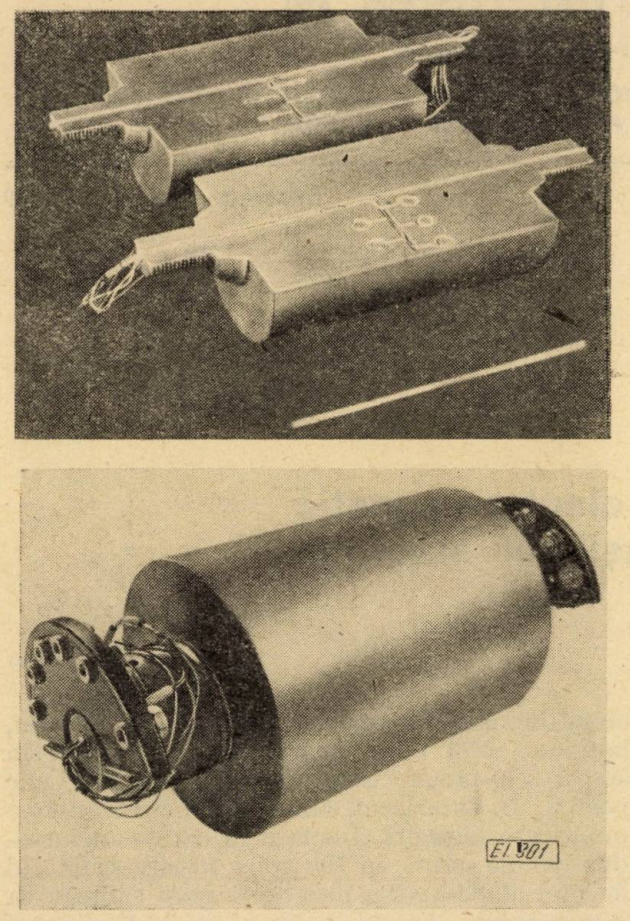


Fig. 1. Rotorul în care s-a măsurat repartiţia inducţiei magnetice, demontat, cu bobinele sondă introduse. Alăturat se vede bobina sondă pentru măsurarea cîmpului magnetic la suprafaţa rotorului.

sităţii cîmpului magnetic, la suprafaţa de separaţie a două medii (aici oţel şi aer). Dacă se cunoaşte componenta tangenţială a intensităţii cîmpului magnetic, se deduce uşor componenta tangenţială a inducţiei putîndu-se lua inducţia de pe caracteristica de magnetizare. Dacă componenta normală a inducţiei ar fi mare,

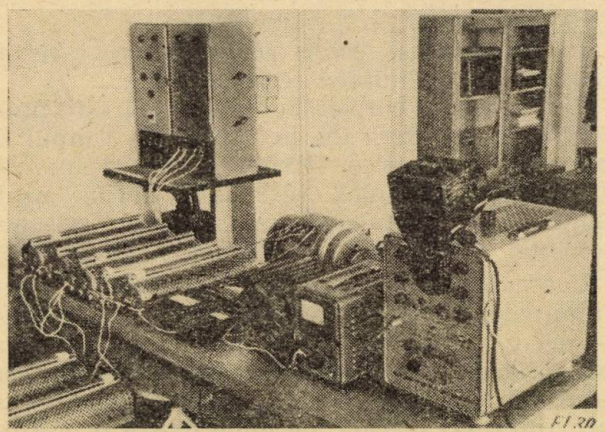


Fig. 2. Ansamblul instalaţiei experimentale pentru studiul repartiţiei cîmpului electromagnetic în medii feromagnetice.

atunci rezultatul obţinut pentru componenta tangenţială a inducţiei magnetice ar fi diferită de valoarea reală, fiindcă permeabilitatea magnetică ar fi în realitate mai mică. S-a măsurat şi componenta normală a inducţiei magnetice cu ajutorul unei spire-sondă de pas diametral şi, în toate cazurile examinate, influenţa componentei normale a inducţiei magnetice a fost mică.

La fiecare bobină-sondă s-a măsurat tensiunea la borne cu un voltmetru electronic şi s-a oscilografiat aceeaşi tensiune la un osciloscop catodic. Rotorul a fost executat din oţel nealiat cu un conţinut de 0,7% carbon. Caracteristica de primă magnetizare a oţelului rotorului este dată în figura 3. Rezistivitatea oţelului determinată experimental a fost $2{,}26 \cdot 10^{-5}$ Ωm.

S-au efectuat măsurări ale tensiunilor date de bobinele-sondă la frecvenţele $f = 50$, 30, 25, 10 Hz, atît pentru cîmp alternativ cît şi pentru cîmp învîrtitor, la tensiuni între faze de 40, 100 şi 125 V. După cum s-a stabilit de către Bruk [9], la un rotor cilindric, la adîncimi pînă la valoarea adîncimii de pătrundere nu sînt practic abateri ale distribuţiei mărimilor de stare ale cîmpului electromag-

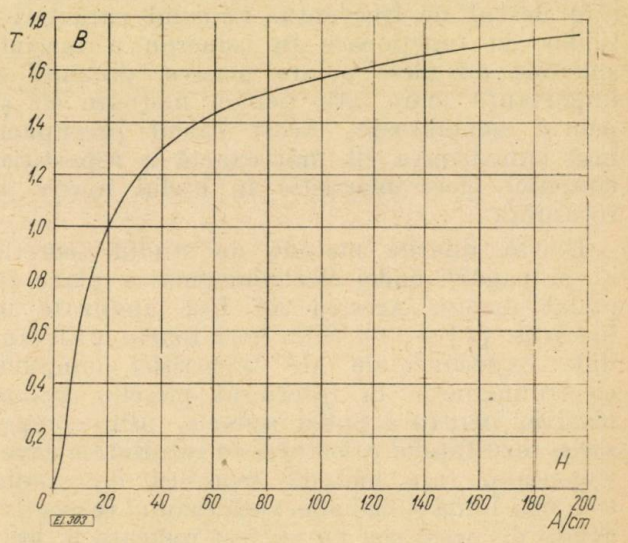


Fig. 3. Caracteristica de primă magnetizare a oţelului rotorului.

netic, datorite curburii, dacă $\alpha_e R > 5$, unde R este raza de curbură, iar α_e este inversul adîncimii de pătrundere a cîmpului electromagnetic. În situaţiile examinate această condiţie a fost satisfăcută.

Nu s-au constatat diferenţe sensibile între măsurările efectuate în cazul cîmpului alternativ şi în cazul cîmpului învîrtitor.

În figura 4 se indică curbele de repartiţie ale amplitudinii armonicii fundamentale a inducţiei magnetice $B_{my} = f(z)$ în funcţie de distanţa de la suprafaţa rotorului pentru $f = 10$ Hz, $U = 40$ V, 100 V, 125 V respectiv pentru

$f = 30$ Hz, $U = 100$ V, 250 V, 320 V, obținute experimental. Din examinarea acestor curbe se vede că, cu cît saturația este mai mare, cu atît repartiția componentei tangențiale a inducției se apropie de situația limită în care, pe o porțiune, inducția rămîne aproape constantă, iar apoi scade brusc.

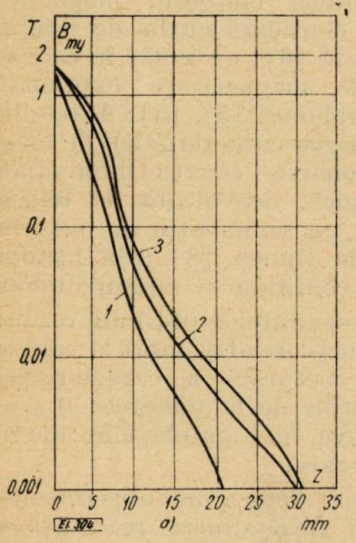
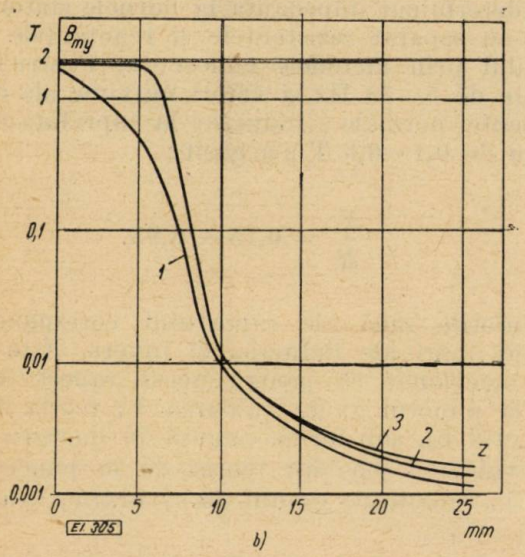


Fig. 4. Curbele de repartiție ale amplitudinii armonicii fundamentale a inducției magnetice $B_{my} = f(x)$ în funcție de distanța de la suprafața rotorului, statorul fiind alimentat monofazat, iar rotorul așezat astfel ca bobinele-sondă din oțel să înlănțuie fluxul maxim:

a) $f = 10$ Hz, 40 V (curba 1), 100 V (curba 2), 125 V (curba 3) *b)* $f = 30$ Hz, 100 V (curba 1), 250 V (curba 2), 320 V (curba 3). S-au determinat punctele pentru $z = 0, 6, 11, 21, 26$ mm.



În condițiile în care s-a efectuat experiența, cele două jumătăți ale cilindrului rotoric din oțel au fost foarte bine asamblate, totuși a rămas inevitabil un spațiu foarte mic între cele două jumătăți care au efectul unui întrefier care duce la o uniformizare a repartiției cîmpului magnetic în lungul razei. Rezultă că în realitate repartiția componentei tangențiale a inducției magnetice este mai apropiată de cazul limită, decît se obține din măsurările efectuate.

În figura 5 se dau oscilogramele tensiunilor la bornele bobinei-sondă din întrefier, pentru

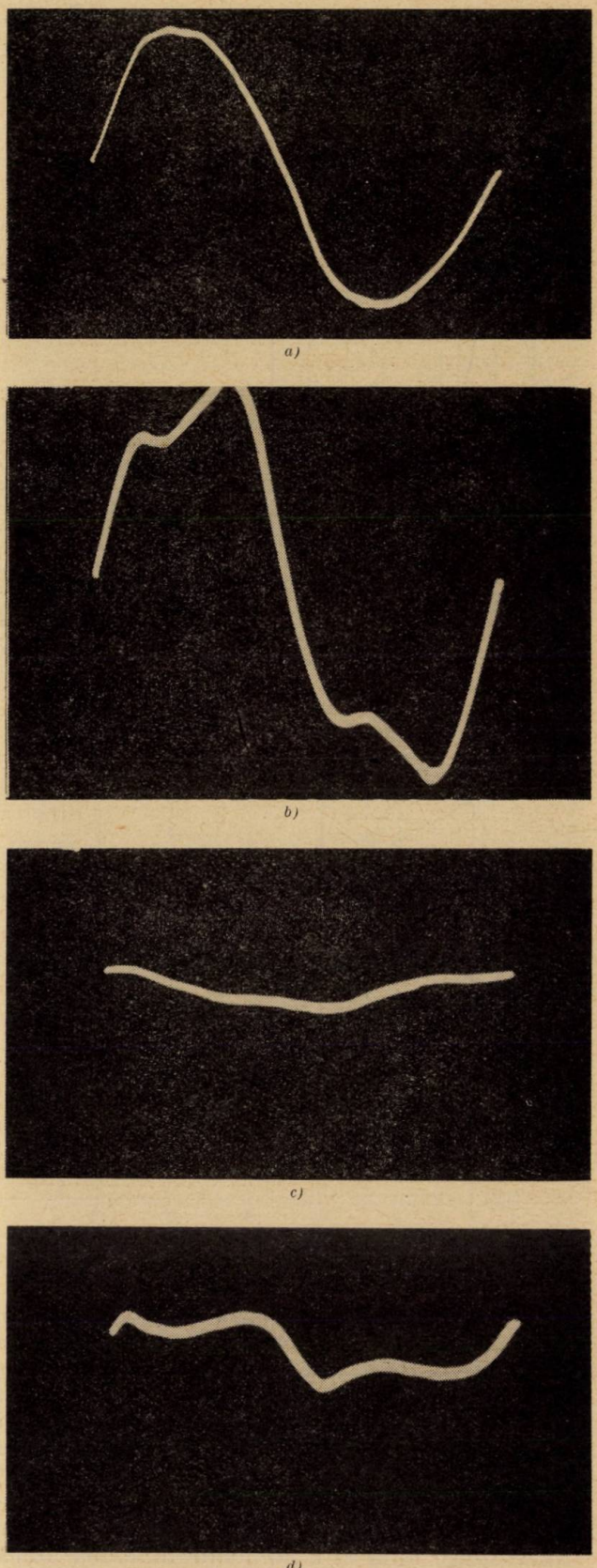


Fig. 5. Oscilogramele tensiunilor măsurate de bobinele sondă pentru $f = 10$ Hz și tensiunea 125 V:

a – bobina sondă din întrefier; *b* – bobina sondă 1; *c* – bobina sondă 2; *d* – bobina sondă pentru cîmpul magnetic tangențial.

măsurarea componentei normale a inducției la suprafața rotorului și a tensiunilor la bornele bobinelor-sondă din oțel, în cazul cîmpului alternativ de frecvență 10 Hz și tensiunea 125 V.

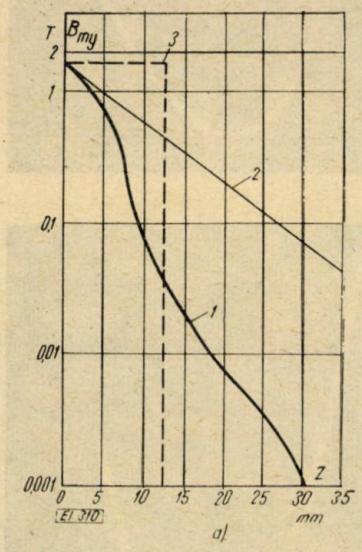
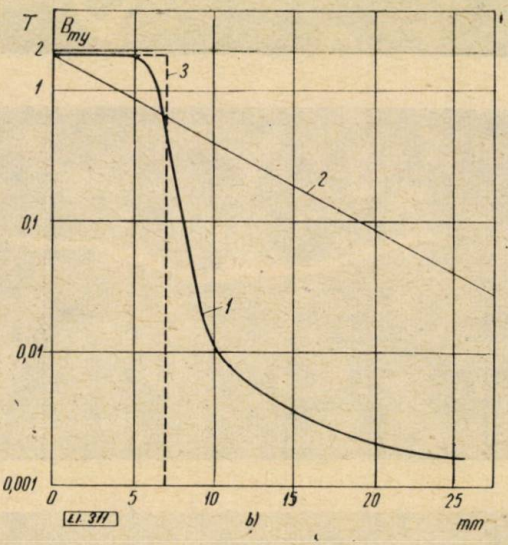


Fig. 6. Curbele repartiției amplitudinii armonicii fundamentale a inducției magnetice în oțel pentru *a*) $f = 10$ Hz, tensiunea 125 V; *b*) $f = 30$ Hz, tensiunea 320 V:
1 – experimental; 2 – teoretic cu considerarea permeabilității constante; 3 – teoretic cu considerarea curbei de saturație limită adică de formă rectangulară.



În figura 6 se indică curba $B_{my} = f(z)$ obținută experimental și pentru același caz repartiția lui B_{my} obținută pentru permeabilitatea magnetică constantă și egală cu valoarea de la suprafața rotorului și de asemenea repartiția lui B_{my} pentru situația limită. Din compararea repartiției lui B_{my} pentru permeabilitate magnetică constantă cu rezultatele experimentale, urmează că valoarea cîmpului magnetic devine în realitate nulă la o adîncime mult mai mică. Ca urmare în realitate energia cîmpului magnetic este mai mică și deci scade și reactanța corespunzătoare față de teoria cu permeabilitate magnetică constantă.

Avînd în vedere aceste rezultate și de asemenea sensul abaterii introdus de experiențele efectuate, rezultă că teoriile referitoare la repartiția cîmpului electromagnetic în oțel pot fi ordonate după gradul de exactitate crescător astfel: a) teoria în care se consideră permeabilitatea magnetică constantă și egală cu valoarea de la suprafață corespunzătoare amplitudinii intensității cîmpului magnetic; b) teoria în care se consideră curba de saturație limită rectangulară [6]; c) teoria în care se consideră curba de magnetizare exprimată printr-o formulă parabolică [5], [3]; d) teoriile exacte fără aproximarea caracteristicii de magnetizare cu soluționarea ecuației diferențiale prin metoda analogică, dezvoltată de Bălă și Ghețaru [7] pentru un semispațiu de material feromagnetic sau de Bunea [8] prin metoda ecuațiilor cu timp continuu și spațiu discret.

Din examinarea rezultatelor obținute rezultă că în special la inducții relativ mari la care se lucrează în partea saturată a caracteristicii de magnetizare, teoriile de la punctele b) și c) care sînt aproximative, însă simple, sînt practic pe deplin satisfăcătoare.

De asemenea, s-a determinat experimental valoarea raportului X/R dintre reactanța și rezistența rotorului feromagnetic. În acest scop s-a determinat impedanța la bornele statorului și s-au separat rezistențele și reactanțele statorului prin metodele cunoscute. Pentru frecvențe de 5—50 Hz și valori maxime ale componentei normale a inducției la suprafața rotorului de 0,1—0,5 T s-a găsit:

$$\frac{X}{R} = 0{,}75 - 0{,}83.$$

Valorile mici ale raportului corespund la valori mari ale inducției și invers. Este util de menționat că pentru acest raport teoria de la punctul a) dă valoarea 1; teoria de la punctul b), sub forma expusă în lucrarea [5], dă valoarea 0,5; iar teoria de la punctul c) dă, în funcție de gradul de saturație, valoarea 0,71—0,77.

În literatură nu au fost indicate încercări experimentale de felul celor expuse în lucrarea de față. Aceasta a condus la situația că s-au utilizat simultan diferite teorii pentru studiul repartiției cîmpului electromagnetic în oțel adoptîndu-se în unele cazuri pentru permeabilitatea magnetică valori fără o justificare satisfăcătoare.

Încercările experimentale efectuate prezintă interes teoretic și practic deoarece permit orientarea în adoptarea unei teorii satisfăcătoare pentru propagarea cîmpului electromagnetic în oțel.

Concluzii

Se ajunge la concluzia că teoriile mai răspîndite, referitoare la propagarea cîmpului electromagnetic în conductoare masive feromagnetice, pot fi ordonate în ordinea crescătoare a gradului de precizie, după cum se aproximează curba de magnetizare printr-una din formele : a) linie dreaptă cu permeabilitatea în interiorul oţelului constantă şi egală cu valoarea de la suprafaţă ; b) curbă limită rectangulară ; c) curbă exprimată printr-o formulă parabolică ; d) metodele exacte analogice sau analitico-numerice. Se recomandă una din metodele aproximative în funcţie de simplitatea calculelor respective şi de precizia rezultatelor urmărite.

Bibliografie

[1] *Avramescu, A.* Über die Zeitkonstante des Skineffektes, În : Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ-A) **80**, nr. 3. p. 78—82, 1959.

[2] *Răduleţ, R.* şi *Ifrim, A.* Calculul forţei şi cuplului frînelor cu disc feromagnetic al ambreiajelor şi motoarelor de inducţie cu rotorul masiv neted. În : Comunicările Acad. R.P.R., 12, nr. 9, p. 1 011—1 019, 1962.

[3] *Nicolaide, A.* Analiza neliniară a propagării cîmpului electromagnetic în piese feromagnetice. În : Electrotehnica **12**, nr. 9, p. 320—330, 1964.

[4] *Cupşa, A.* Curenţi variabili în conductoare feromagnetice neliniare. În : Electrotehnica **15**, nr. 2, p. 45—55, 1967.

[5] *Neiman, L.R.* Poverhnostnîi effekt v ferromagnitnîh telah. Moskva, Gosenergoizdat, 1949.

[6] *McLean, W.* Theory of Strong Electromagnetic Waves in Massive Iron. În : Journal of Applied Physics **25**, 1 267—1 270, 1954.

[7] *Bălă, C.* şi *Gheţaru, S.* Cîmpul magnetic alternativ tangenţial în mediu feromagnetic. În : Studii şi Cercetări de Electrotehnică şi Energetică **15**, nr. 2, p. 267—292, 1965.

[8] *Bunea, V.* Soluţionarea ecuaţiilor lui Maxwell în medii conductoare liniare şi feromagnetice. În : Electrotehnica 14, nr. **10**, p. 337—353, 1966.

[9] *Bruk, I.S.* Teoria asinhronnovo dvigatelia s massivnîh rotorom. ВЭ ТЭ, nr. 2, 1928.

Intrat în redacţie la 27.I.1969

Încercările experimentale ale unei autodine

CORNELIU HUŢANU* — Iaşi

CZ 621.313.236.3.001.415

În sistemele de acţionare electrică cu condiţii variate de funcţionare, cu toate dezavantajele pe care le prezintă colectorul, motorul de curent continuu este cel mai folosit. Evident, aceasta implică sisteme de alimentare adecvate necesităţilor reglajului şi în special pentru modificarea continuă a tensiunii de alimentare a motorului.

Sistemul cel mai răspîndit şi care se poate construi pentru puteri foarte mari este sistemul Ward-Leonard. Folosirea acestuia prezintă însă şi dezavantaje : un randament global scăzut datorită conversiei repetate a energiei electrice prin forma de energie mecanică, gabarite mari, factor de putere relativ scăzut, folosirea a cel puţin două maşini în agregat şi necesitatea unor instalaţii suplimentare pentru reglaj.

Folosirea comutatricei ca sursă de tensiune continuă ar elimina dezavantajele economice ale grupului motor-generator, dar nu ar permite modificarea tensiunii decît în limite reduse şi ar ridica probleme de comutaţie şi stabilitate deosebite.

Tendinţa înlocuirii sistemelor electromecanice rotative de convertire a c.a. în c.c. prin convertizori statici este încă limitată de putere, de sensibilitatea ridicată la tensiuni inverse şi în special la suprasarcini, remarcîndu-se totodată o mare complexitate a sistemelor de comandă, chiar pentru manevre simple (reversări de sens, recuperare de energie etc.).

Autodina întruneşte avantajele economice ale comutatricei şi cele funcţionale ale grupului motor-generator, depăşindu-le prin faptul că nu are nevoie de instalaţii suplimentare de reglaj, putîndu-şi regla automat parametrii de ieşire (tensiunea, curentul sau puterea), fiind în acelaşi timp şi o maşină amplificatoare de putere. Faţă de sistemele statice prezintă o mai mare simplitate constructivă, robusteţe funcţională mare, putînd fi construită pentru puteri comparative cu ale grupului motor-generator. Această maşină este relativ puţin cunoscută în ţara noastră [5], considerînd că o prezentare succintă a principiului de funcţionare va uşura înţelegerea unor fenomene specifice.

Lucrarea de faţă are drept scop de a prezenta unele rezultate obţinute pe un model experimental de autodină, care parţial au mai fost prezentate [6].

* Ing. *C. Huţanu* este asistent la Institutul politehnic—Iaşi.

Principiul de funcţionare al autodinei

Este binecunoscut faptul că la o comutatrice există o relaţie rigidă între tensiunile pe partea de c.a. şi c.c., dictată de construcţia sistemului magnetic şi a înfăşurării rotorice [4]. Reglajul tensiunii continue se obţine în limite relativ mici, ea considerîndu-se practic nereglabilă. Modificarea fluxului de excitaţie la comutatrice se soldează numai cu modificarea puterii reactive a acesteia, iar modificarea tensiunii alternative implică pierderea sincronismului. Singura posibilitate care permite reglarea în limite largi a tensiunii continue şi menţinerea în sincronism a maşinii o constituie numai modificarea poziţiei fluxului inductor faţă de perii şi nu a valorii sale. Evident la comutatrice acest lucru nu este posibil, fluxul fiind legat de sistemul statoric. Rezolvarea problemei [1], [2] s-a făcut prin înlocuirea excitaţiei statorice cu o excitaţie rotorică. Dacă considerăm indusul unei comutatrice cu înfăşurare comună pe rotor, alimentată prin inele de la reţeaua de c.a. (fig. 1), statorul fiind format numai dintr-un inel feromagnetic necesar închiderii fluxului, fluxul de excitaţie va fi produs de curenţii de magnetizare I_μ absorbiţi din reţea. În regim staţionar, cînd viteza de rotaţie a rotorului este egală şi de sens contrar cu a cîmpului învîrtitor ($n = n_s$), fluxul va fi fix faţă de stator, deci şi faţă de perii, putînd fi reprezentat printr-un fazor fix Φ. În regim tranzitoriu ($n \neq n_s$), fluxul se va roti faţă de perii o dată cu rotorul cu viteza $|\Delta n| = |n_s - n|$, în acelaşi sens sau

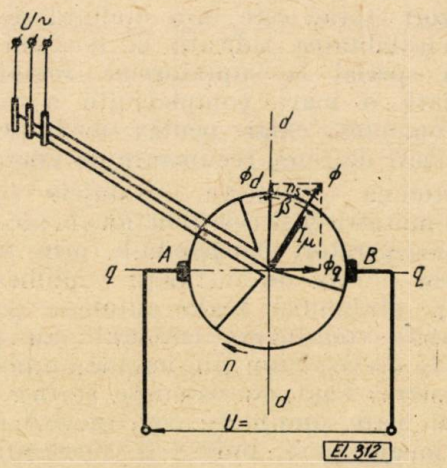


Fig. 1. Principiul de funcţionare al autodinei.

în sens contrar cîmpului învîrtitor după cum viteza rotorului va fi mai mică sau mai mare decît viteza sincronă. Considerînd că nu apar alte cupluri perturbatoare şi că maşina este în sincronism, poziţia fluxului faţă de perii poate fi oarecare, obţinîndu-se un echilibru indiferent al acestuia în spaţiu. Cum însă tensiunea între perii depinde de componenta longitudinală Φ_d a fluxului

$$U = \Phi_d = \Phi \cos \beta, \qquad (1)$$

prin modificarea poziţiei spaţiale a fluxului se va modifica şi U. Obţinerea valorii dorite a tensiunii la borne implică menţinerea fluxului într-o poziţie corespunzătoare, care se realizează în autodină printr-o înfăşurare statorică de comandă (fig. 2) care acţionează după axa

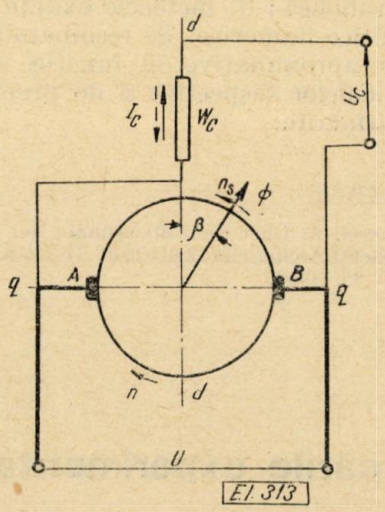


Fig. 2. Schema de conectare a înfăşurării de comandă.

longitudinală. În acest caz, înfăşurarea de comandă este conectată într-un circuit de reacţie după tensiunea la borne. La apariţia unui curent I_c în această înfăşurare, spre exemplu datorită neconcordanţei tensiunilor U şi U_c, fluxul statoric creat va produce un cuplu electromagnetic care acţionînd asupra rotorului îl roteşte împreună cu fluxul de excitaţie într-o astfel de poziţie în care $I_c = 0$ şi $U = U_c$. Modificînd valoarea tensiunii de referinţă U_c se poate modifica şi valoarea tensiunii la bornele autodinei în limitele $\pm U_{max}$, corespunzătoare poziţiei fluxului de-a lungul axei d, deci :

$$U = \pm U_{max} \cos \beta, \quad (0 \leqslant \beta \leqslant \pi). \qquad (2)$$

Este evident că valoarea tensiunii continue nu depinde de mărimea curentului de comandă ci de durata cît acţionează.

Dezavantajul excitaţiei rotorice constă în factorul de putere scăzut al maşinii, dezavantaj care se poate remedia prin folosirea unei înfăşurări statorice corespunzător conectată la perii, astfel ca să nu producă un cuplu rezistent care să perturbe echilibrul indiferent al fluxului în spaţiu, ci numai să descarce rotorul de curentul reactiv. Această înfăşurare este denumită înfăşurare de *excitaţie de alunecare* [1],

întrucît permite producerea excitației mașinii fără să provoace un cuplu reactiv.

În realitate, pierderile de mers în gol produc un cuplu rezistent care, în cazul că nu este compensat, nu permite funcționarea sincronă a mașinii. Pentru aceasta, mașina este prevăzută cu o înfășurare statorică astfel conectată

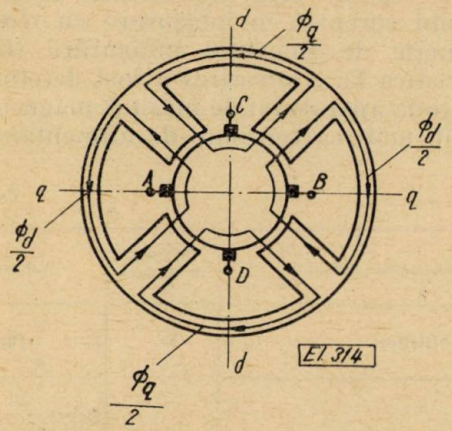


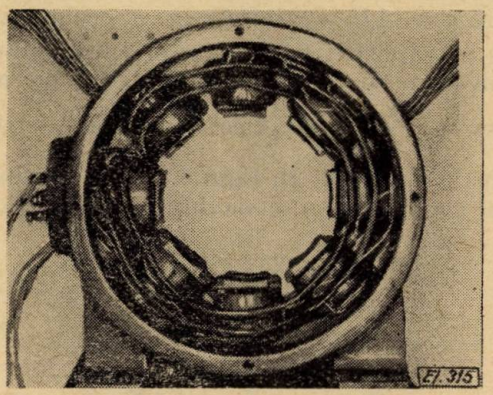
Fig. 3. Schema circuitului magnetic al unei autodine bipolare.

la perii încît să permită dezvoltarea unui cuplu activ accelerator ce să anihileze efectul pierderilor de mers în gol, denumită înfășurare de *compensare a frecărilor*.

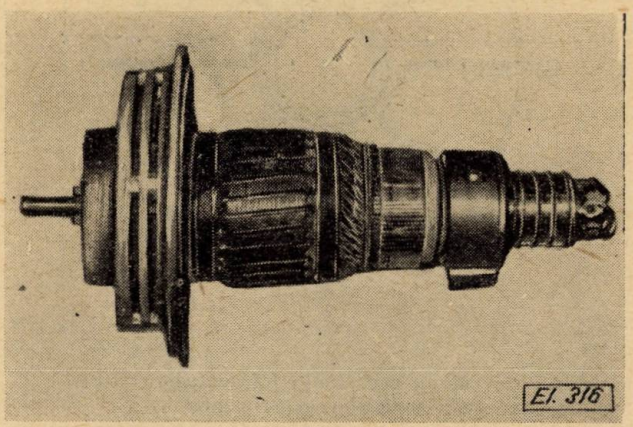
Așadar în cazul real, pe statorul mașinii trebuie dispuse înfășurările amintite care să acționeze după cele două axe principale ale mașinii [1] și să fie alimentate de la perii dispuse tot după aceste axe (AB și CD — fig. 3). Din aceste motive, statorul se prevede cu poli aparenți, divizați în semipoli pentru dispunerea înfășurărilor și realizarea unei zone de comutație și după axa longitudinală. În concluzie această mașină funcționează pe partea de c.a. ca un motor sincron cu viteza determinată de frecvența rețelei de alimentare și de numărul de poli, iar pe partea de c.c. ca un generator de tensiune reglabilă după voie.

Modelul experimental de autodină

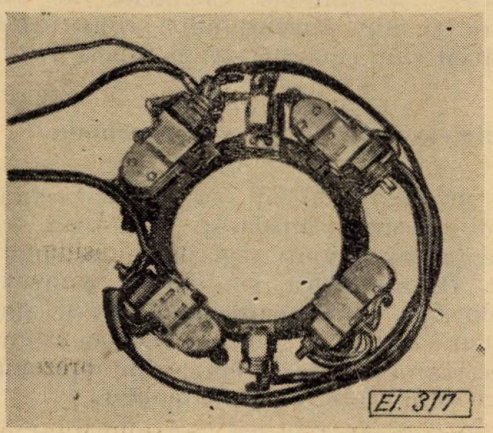
Modelul experimental de autodină a fost realizat în laboratorul de acționări electrice a Institutului politehnic din Iași. Acest model s-a obținut din transformarea unui generator de c.c. de 3 kW, 120 V, 2200 rot/min, într-o autodină tetrapolară cu $n_s = 1500$ rot/min. Polii principali au fost înlocuiți cu 8 semipoli dispuși simetric (fig. 4a). Forma acestora este identică cu a polilor pentru mașinile de c.c., avînd o extindere polară $b = 42{,}2$ mm. Nu s-au prevăzut polii auxiliari, obținîndu-se și fără aceștia o comutație bună. Mărimea întrefierului sub semipoli a fost micșorată pînă la valoarea de 0,65 mm, limitată de considerente mecanice. La axul rotoric s-a prevăzut o prelungire pe care s-au montat trei inele (fig. 4b)



a)



b)



c)

Fig. 4. Modelul experimental de autodină.

conectate în trei puncte electric echidistante la înfășurarea rotorică, care este conectată și la colector. Prin aceste inele se face alimentarea cu curent alternativ a autodinei. Pe polii aparenți s-au dispus înfășurările : de comandă (C), de excitație de alunecare (E), de compensare a frecărilor (F) și de forțare (K), al căror calcul s-a executat plecînd de la considerațiile

teoretice privind rolul lor [1]. Pentru conectarea înfășurărilor de excitație și compensare a frecărilor la colector s-a folosit schema numai cu o singură perie auxiliară C, în afară de cele de utilizare AB, obținîndu-se o economie de cupru în raportul $2/\sqrt{2}$. Astfel s-au adăugat încă două perii auxiliare la colierul de perii, dispuse la $\frac{\pi}{2}$ grade electrice față de periile principale (fig. 4c). În figura 5 este prezentată schema completă a conexiunilor înfășurărilor

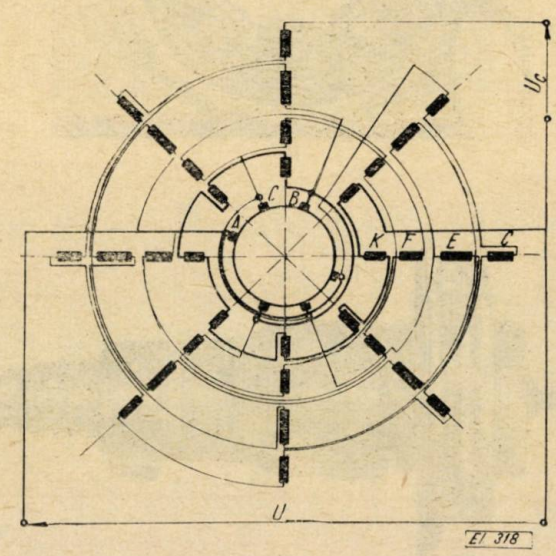


Fig. 5. Schema de conexiuni a înfășurărilor statorice ale modelului experimental.

statorice. Rezultatele calculelor de dimensionare și ale dimensiunilor constructive ale autodinei sînt concentrate în tabela 1.

Rezultatele încercărilor experimentale

Pe modelul realizat s-a urmărit studierea rolului fiecărei înfășurări statorice cît și influența lor asupra reglajului tensiunii continue. De asemenea, s-a studiat comportarea autodinei la funcționarea în gol și în sarcină. În figura 6 este prezentată schema instalației de încercare, în care autodina este reprezentată, pentru simplitate, ca fiind bipolară.

a) *Funcționarea în gol.* S-a alimentat modelul la tensiunea de 39 V c.a. prin intermediul autotransformatorului AT de la rețeaua trifazată. Datorită părților statorice masive, autodina demarează ca un motor asincron cu rotorul în scurtcircuit inversat, absorbind curentul de magnetizare din rețea. Datorită pierderilor de mers în gol, mașina nu poate intra în sincronism, menținîndu-și o alunecare corespunzătoare acestor pierderi. Înfășurarea de *compensare a frecărilor*, după cum s-a văzut, are rolul de a produce un cuplu activ care să echilibreze cuplul rezistent produs de pierderile de mers în gol. La conectarea corectă a acestei înfășurări, mașina accelerează intrînd în sincronism. Dacă conectarea nu este corectă, alunecarea crește, fapt ce dovedește că înfășurarea de compensare a frecărilor acționează în același sens cu cuplul rezistent. Influența acestei înfășurări asupra autosincronizării autodinei s-a studiat prin modificarea alunecării, modificînd curentul în înfășurare cu reostatul R_F, funcție de solenația înfășurării (fig. 7, caracteristica 1). Alunecarea a fost determinată prin metoda aparatului de măsură magnetoelectric. Prin mărirea tensiunii de alimentare pînă

Tabela 1

Denumirea mărimii		Unitatea de măsură	Valoarea
t.e.m. continuă		V	$E = \frac{N}{a} f\Phi = 60{,}8$
t.e.m. alternativă		V	$E_1\sqrt{2}\frac{N}{2\,am} f\xi_1\Phi_1 = 39{,}1$ pentru $\Phi/\Phi_1 = 1{,}05$
fluxul magnetic		Wb	$\Phi = \alpha\tau l_i B_\delta = 28{,}5.10^{-4}$
inducția sub semipol		Wb/m²	$B/\delta = 0{,}5$
dimensiuni constructive	K	—	87
	Z	—	29
	N	—	425
	$2p$	—	4
	$2a$	—	2
	α	—	0,67
	τ	m	$12{,}6 \cdot 10^{-2}$
	D	m	$16{,}0 \cdot 10^{-2}$
	b	m	$4{,}22 \cdot 10^{-2}$
	l_i	m	$6{,}75 \cdot 10^{-2}$
	δ	m	$6{,}5 \cdot 10^{-4}$
viteza de rotație		rot/s	$n = 25$
numărul de spire pe semipol al înfășurării E		—	600
rezistența înfășurării E		Ω	56
numărul de spire pe semipol al înfășurării F		—	450
rezistența înfășurării F		Ω	200
numărul de spire pe semipol al înfășurării C		—	200
rezistența înfășurării C		Ω	15,2
numărul de spire pe semipol al înfășurării K		—	13
rezistența înfășurării K		Ω	0,45

la 47 V s-a putut stabili influența acestei înfășurări și la o supracompensare a cuplului rezistent. Se evidențiază dependența liniară a

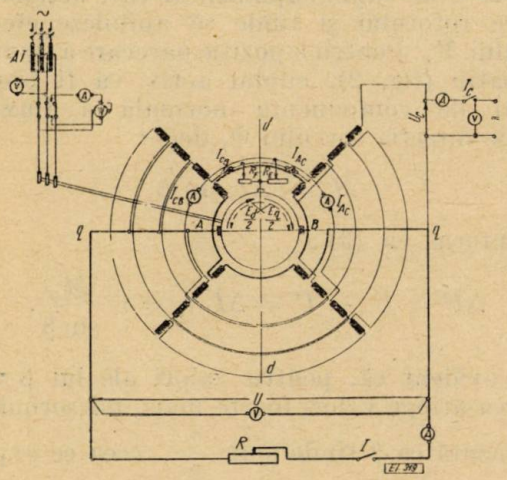


Fig. 6. Schema montajului pentru încercări.

alunecării funcție de solenație la alunecări mici. Între 0 și 600 Asp mașina funcționează în asincron, de la această valoare avînd loc pro-

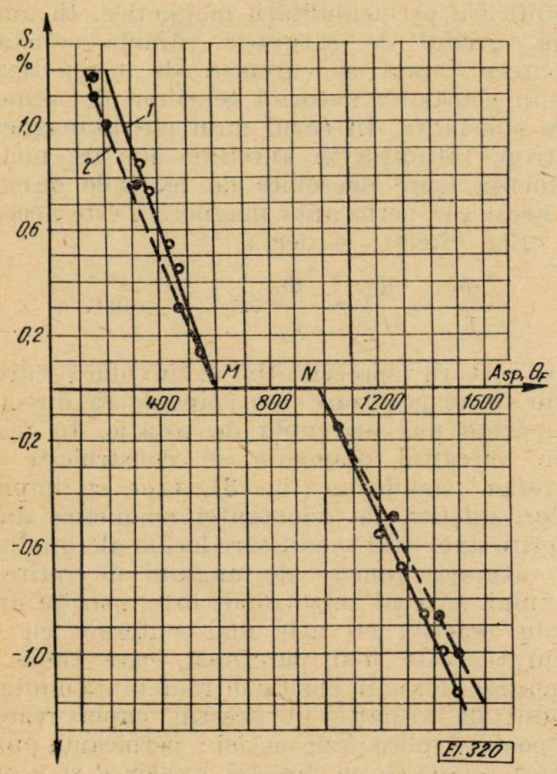


Fig. 7. Dependența alunecării autodinei de solenația înfășurării de compensare a frecărilor.

cesul de autosincronizare. Datorită momentului reactiv produs de histerezis, între 600 și 1000 Asp apare un palier, în reprezentare-segmentul MN. La depășirea acestei valori, autodina trece din nou la funcționare în asincron, dar peste valoarea sincronă ($n > n_s$). În lipsa histerezei, caracteristica va trece prin mijlocul seg-

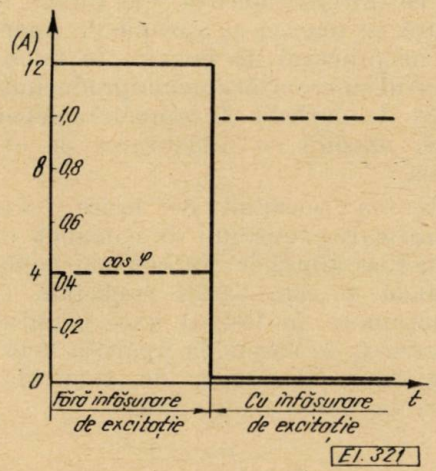


Fig. 8. Influența înfășurării de excitație de alunecare.

mentului MN. Înfășurarea de *excitație de alunecare* are rolul de a transfera solenația magnetizantă pe stator fără a dezvolta cuplu. Înainte de conectare (fig. 8), factorul de putere al autodinei era $\cos\varphi = 0{,}42$, corespunzînd un curent reactiv de linie $I_1 \sin\varphi = 12$ A, iar

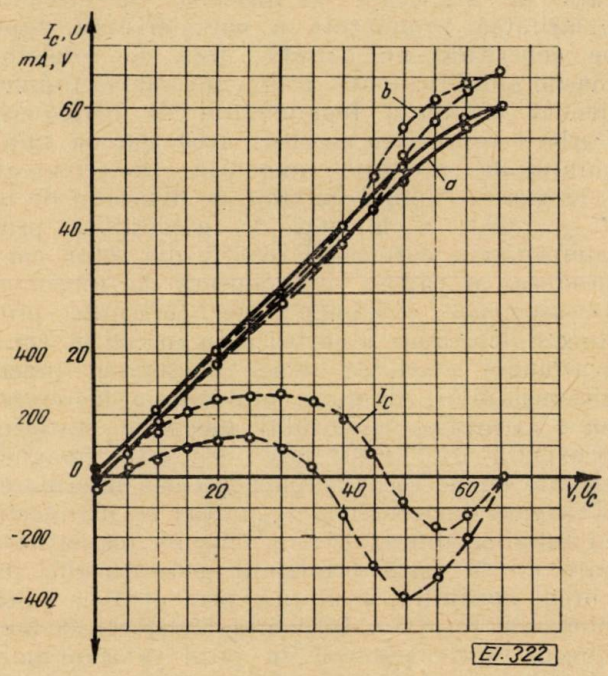


Fig. 9. Caracteristica de reglaj :

a – fără înfășurare de excitație de alunecare; *b* – cu înfășurare de excitație de alunecare.

după conectarea acestei înfășurări, curentul reactiv scade la 0,175 A și un $\cos\varphi = 0{,}997$. Faptul că nu produce cuplu se poate vedea din figura 9. În timpul pornirii însă, această

înfășurare produce un cuplu activ, ușurînd pornirea și intrarea în sincronism a mașinii, explicabil prin aceea că reprezintă o înfășurare închisă (prin colector) în care se induc curenți ce interacționează cu fluxul rotitor. Pe măsură ce mașina se apropie de sincronism, aportul în procesul de pornire se micșorează, în momentul sincronizării nemaiproducînd cuplu. În figura 7, curbele *2* reprezintă dependența alunecării mașinii cu înfășurarea de excitație conectată.

Modificarea tensiunii de ieșire s-a realizat prin modificarea tensiunii de comandă după ce mașina a fost adusă la sincronism. *Înfășurarea de comandă C* este astfel conectată (fig. 2) ca să acționeze în lungul axei longitudinale, fiind parcursă de curent la apariția unei neconcordanțe între tensiunea de comandă U_c și tensiunea la bornele autodinei :

$$I_c = \frac{U_c - U}{r_c}, \qquad (3)$$

unde r_c este rezistența înfășurării de comandă. În figura 9 sînt reprezentate curbele $U = f(U_c)$ și $I_c = f(U_c)$ pentru domeniul $0 < \beta < \frac{\pi}{2}$, porțiunea $0 < \beta < -\frac{\pi}{2}$ fiind absolut identică. Curba *a* este trasată cu înfășurarea de excitație de alunecare deconectată. Se observă liniaritatea pronunțată a caracteristicii, fapt ce constituie un avantaj față de celelalte mașini amplificatoare. Existența a două ramuri denotă existența fenomenului de histerezis. Curba *b* reprezintă aceeași curbă, dar cu înfășurarea de excitație conectată. De remarcat o creștere a limitei maxime de tensiune de la $U_{max} = 60{,}8$ V la 66,7 V, explicabilă prin compensarea curentului reactiv din rotor care producea o cădere suplimentară de tensiune. De asemenea, existența acestei înfășurări produce o deformare a curbei și în special în zona tensiunilor mari, ce atrage micșorarea preciziei reglajului. Acțiunea combinată a histerezei cu a saturației circuitului magnetic statoric, provenită din transferarea solenației magnetizante de pe rotor, explică această deformare. Existența histerezei și saturației se manifestă în autodină diferit decît la mașinile regulatoare care au la bază principiul generatorului de curent continuu, și anume prin apariția unor momente reactive. Influența histerezei se manifestă foarte puternic în jurul valorilor mari ale tensiunii de ieșire, adică pentru valori ale unghiului β în apropiere de zero. Teoretic, se poate explica prin următoarele considerente. La rotirea fluxului magnetic în spațiu în raport cu miezul magnetic, datorită fenomenului de histerezis apare un cuplu M_H care nu permite deplasarea rotorului, deci a fluxului, într-o nouă poziție. Rezultatul este apariția unei abateri a tensiunii la borne față de tensiunea de referință U_c. În înfășurarea de comandă va apărea un curent suplimentar ΔI_c care va produce un flux $\Delta\Phi_c$ proporțional cu această abatere și un cuplu suplimentar care acționează asupra rotorului și tinde să anihileze efectul cuplului M_H. Pentru o poziție oarecare a fluxului în spațiu (fig. 2), cuplul activ va fi produs numai de componenta normală a fluxului $\Delta\Phi_c$ pe direcția fluxului Φ, deci :

$$M_H = \Delta I_c \sin\beta$$

și conform cu (3) :

$$\Delta U = U_c - U = \Delta I_c r_c = r_c \frac{M_H}{\sin\beta}. \qquad (4)$$

Este evident că, pentru valori ale lui $\beta \approx 0$, eroarea atinge valori foarte mari, micșorîndu-se pe măsură ce β tinde spre $\frac{\pi}{2}$, ceea ce explică valorile mari ale curentului din înfășurarea de comandă pentru aceste unghiuri.

După cum se știe, influența saturației la mașinile de c.c. se manifestă printr-o abatere de la proporționalitatea între solenația de excitație (comandă) și t.e.m. la borne, datorită modificării permeabilității magnetice. În autodină, gradul de saturație rămîne constant deoarece fluxul și curentul de magnetizare rămîn constante datorită tensiunii de alimentare constante. În cazul unui circuit magnetic izotrop, saturația în autodină nu are nici o influență (spre deosebire de mașinile de c.c.). În acest caz permeanța magnetică este aceeași pe orice direcție și deci :

$$\frac{\Phi_d}{I_{\mu d}} = \frac{\Phi_q}{I_{\mu q}} = \frac{\Phi}{I_\mu} \equiv \lambda = \text{const.}$$

Deci vectorii reprezentativi ai fluxului și curentului de magnetizare vor coincide ca direcție, neapărînd nici un cuplu de rotație. În realitate, circuitul magnetic se construiește cu întrefier neuniform (fig. 3), fapt ce implică valori diferite ale reluctanței magnetice după diferite axe, deci modificări locale ale gradului de saturație funcție de unghiul de rotire a fluxului. Efectul anizotropiei este apariția unui cuplu reactiv, cu atît mai puternic cu cît saturația este mai puternică, care tinde să deplaseze fluxul în poziția de reluctanță minimă. Modul de variație al acestui cuplu reactiv se poate explica fizic astfel : permeanța magnetică aparentă pe direcția axelor *d* și *q* este egală, deci fluxul nu are nici un motiv să se rotească din poziția corespunzătoare semipolilor $\left(\beta = \pm\frac{\pi}{4}\right)$ într-una din aceste poziții, deci pentru $\beta = \frac{\pi}{4}$ și $-\frac{\pi}{4}$ nu apare nici un cuplu

reactiv. Analog pentru poziţiile $\beta = 0$ şi $\frac{\pi}{2}$ în care, de asemenea, reluctanţele sînt identice. Restrîngînd raţionamentul asupra poziţiilor $\beta = 0$ şi $\frac{\pi}{4}$, datorită permeanţelor magnetice diferite apare un cuplu reactiv care va avea valoarea maximă în jurul valorilor $\beta = \pm\frac{\pi}{8}$ şi $\pm 3\frac{\pi}{8}$. Existenţa acestui cuplu, a cărui variaţie cu bună aproximaţie se poate considera ca fiind o funcţie de $\sin 4\beta$, va provoca o încetinire sau accelerare a rotorului (funcţie de valorile reluctanţelor), deci o abatere a tensiunii la borne faţă de tensiunea U_c şi apariţia unui curent de comandă cu aceeaşi formă de variaţie. Va apărea un cuplu activ care va tinde să elimine cuplul reactiv şi să permită reglajul fluxului. Efectul combinat al saturaţiei şi histerezei explică întrutotul alura caracteristicii experimentale a curentului de comandă (fig. 9). Datorită rezistenţei înfăşurării de comandă, în realitate apare o abatere ΔU de la legea ideală de reglaj, a cărei variaţie este proporţională cu a curentului de comandă, explicîndu-se şi forma caracteristicii $U = f(U_c)$. În cazul *a* (fig. 9), circuitul magnetic statoric nefiind saturat, deformarea caracteristicii este mai redusă, datorîndu-se mai mult histerezei a cărei influenţă rămîne aceeaşi, vizibilă în special în zona tensiunilor mari. Interesantă este variaţia curenţilor în înfăşurările de excitaţie şi compensarea frecărilor în timpul reglajului (fig. 10) a cărei explicaţie este următoarea. Dacă se notează t.e.m. induse de componentele longitudinală şi transversală a fluxului Φ_d şi Φ_q (fig. 1) cu E_q, respectiv E_d, atunci t.e.m. care va acţiona între periile AC va fi $\frac{E_q - E_d}{2}$, iar între periile CB, $\frac{E_q + E_d}{2}$ (fig. 6). Evident, curenţii în înfăşurările conectate între periile CB vor fi proporţionali cu $i_{CB} \equiv \frac{E_q + E_d}{2}$, dar cum $E_q \equiv \cos\beta$ şi $E_d \equiv \sin\beta$, atunci $i_{CB} \equiv \frac{\cos\beta + \sin\beta}{2}$, iar între periile AC, $i_{AC} \equiv \frac{\cos\beta - \sin\beta}{2}$, pentru $0 \leqslant \beta \leqslant \frac{\pi}{2}$. Conform acestor consideraţii i_{AC} trebuie să se anuleze pentru $\beta = \frac{\pi}{4}$, iar i_{CB} să atingă valoarea maximă. Teoretic, aceasta ar trebui să se producă la o tensiune $U = U_{max}\cos\frac{\pi}{4} = 66{,}7\frac{\sqrt{2}}{2} = 47{,}2$ V, valoare care coincide cu rezultatele experimentale.

b) *Funcţionarea în sarcină.* După sincronizare s-a conectat maşina pe o sarcină rezistivă, după ce în prealabil s-a stabilit cu ajutorul înfăşurării de comandă valoarea dorită a tensiunii continue. Autodina funcţionează în acest montaj (fig. 6) ca stabilizatoare de tensiune, menţinîndu-şi tensiunea la borne constantă, indiferent de sarcină. Datorită compensării

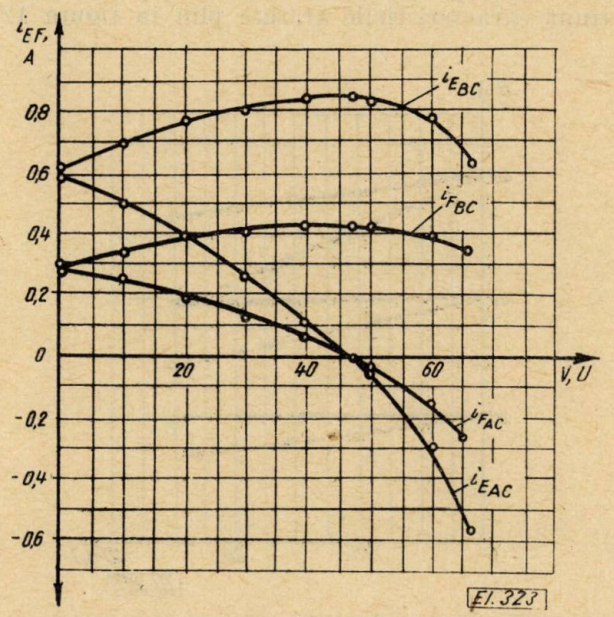


Fig. 10. Variaţia curenţilor din înfăşurările de compensare a frecărilor şi de excitaţie de alunecare în timpul reglajului.

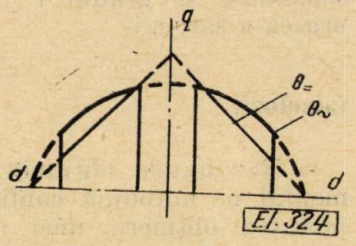


Fig. 11. Distribuţia t.m.m. rotorice de c.a. şi c.c.

t.m.m. rotorice produse de c.a. şi c.c., reacţia indusului este practic eliminată. Totuşi, datorită distribuţiilor diferite ale acestora (sinusoidală, respectiv triunghiulară), cît şi faptului că într-un pas polar sînt doi semipoli distincţi (fig. 11), rămîn armonici superioare necompensate ale curbei t.m.m., care generează un cuplu de rotaţie rezistent proporţional cu curentul de sarcină I. Deoarece fluxul corespunzător armonicilor superioare necompensate acţionează după axa q, valoarea maximă a cuplului rezistent va fi pentru poziţia $\beta = 0$ a fluxului. În figura 12 sînt reprezentate cu linie întreruptă caracteristicile externe ale autodinei, care confirmă consideraţiile expuse, căderea de tensiune crescînd cu sarcina şi micşorarea unghiului β. Prin folosirea unei înfăşurări care să acţioneze pe axa transversală şi să fie parcursă

de curentul de sarcină, denumită înfăşurare *de forţare* [1], se poate compensa efectul armonicilor superioare. Înfăşurarea de compensare a armonicilor K (fig. 5) fiind conectată în sensul compensării efectului acestora, s-au obţinut caracteristicile trasate plin în figura 12.

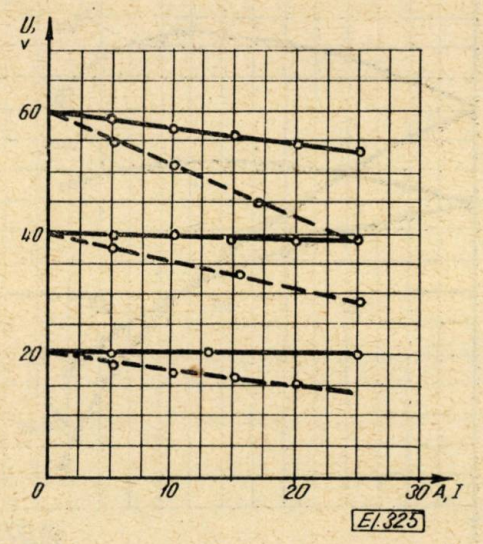


Fig. 12. Caracteristicile externe ale autodinei.

Datorită efectului saturaţiei şi histerezei care nu poate fi compensat cu ajutorul acestei înfăşurări, în zona tensiunilor mari se menţine o cădere de tensiune. Lipsa reacţiei indusului şi existenţa înfăşurării K conduc la o comutaţie bună, nedepăşind gradul $1\,^1/_4$ la o sarcină constantă şi gradul $1\,^1/_2$ chiar la o aplicare bruscă a sarcinii.

Concluzii

— Rezultatele obţinute pe modelul experimental de autodină confirmă pe deplin posibilitatea obţinerii unei comutatrice cu tensiune continuu reglabilă pe partea de curent continuu, prin modificarea poziţiei fluxului în raport cu periile.

— S-a evidenţiat influenţa înfăşurărilor auxiliare statorice, asupra bunei funcţionări şi îmbunătăţirii parametrilor funcţionali ai autodinei. Astfel, cu ajutorul înfăşurării de compensare a frecărilor se obţine o sincronizare a maşinii, iar cu ajutorul înfăşurării de excitaţie de alunecare un factor de putere unitar. Amintitele înfăşurări joacă un rol favorabil şi în timpul pornirii, în această perioadă autodina prezentîndu-se ca un motor asincron inversat.

— Din influenţa pe care o au saturaţia şi histereza asupra reglajului tensiunii continue se pot desprinde concluzii privind realizarea circuitului magnetic. În acest sens ar fi necesar să se construiască şi statorul lamelat sau să se folosească „corectori de histerezis", iar proiectarea circuitului magnetic să se facă astfel încît să se obţină un acelaşi grad de saturaţie pentru diferite poziţii ale fluxului în spaţiu.

— Cu toată construcţia puţin pretenţioasă a modelului, se obţine o caracteristică de reglaj liniară care constituie un avantaj faţă de alte maşini regulatoare şi o funcţionare corespunzătoare din punct de vedere al comutaţiei, chiar şi la şocuri de sarcină.

Bibliografie

[1] *Benedikt, O.* Die neue elektrische Maschine „AUTODYNE". Akademie-Verlag, Berlin, Verlag der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest, 1957.
[2] *Benedikt, O.* The Autodyne, a new electromechanical amplifier. In: Automatic and remote control, Moscova, 1960, vol. *IV*.
[3] *Csáki, F.* ş.a. Experimental test on the voltage regulating autodyne 20 kW. In: Automatic and remote control, Moscova, 1960, vol. **IV**.
[4] *Richter, R.* Maşini electrice, vol. **I** şi **II**, Bucureşti, Editura tehnică, 1958 şi 1959.
[5] *Sand, M.* Maşini electrice speciale, vol. **1**. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1963.
[6] *Huţanu, C.* şi *Roşu, E.* Consideraţii asupra unor încercări experimentale ale unei autodine. Comunicare la a VIII-a sesiune ştiinţifică a Institutului politehnic Iaşi. Iaşi, 28—30 septembrie, 1967.

Intrat în redacţie la 16. XII. 1968

Contribuții pentru determinarea pierderilor dielectrice la hîrtiile electroizolante

VIOLETA BERINDE și V. STĂNCULESCU* — București

CZ 621.315.614.64.017.143

1. Considerații generale

Pentru caracterizarea dielectricilor factorul de pierderi sau tangenta unghiului de pierderi dielectrice ($tg\delta$), are o semnificație și importanță deosebită, căci, exprimînd în esență energia disipată pentru formarea și orientarea dipolilor, permite evaluări calitative pentru o utilizare rațională în practică, precum și indicații asupra structurii diferitelor materiale electroizolante.

Factorul de pierderi este o mărime care, în general pentru dielectrici și în special pentru hîrtiile electroizolante, nu poate fi dedusă în mod satisfăcător prin calcul, cu ajutorul altor caracteristici cunoscute. Încercări în acest sens s-au făcut plecînd de la adoptarea unor reprezentări diferite a hîrtiei ca dielectric compus.

Astfel, Büchner și Edicott, în 1949, propun „schema serie" [1], în care hîrtia se consideră constituită din straturi paralele, formate alternativ din aer și fibre de celuloză. Acest model a condus la următoarele relații teoretice [2]:

— în cazul hîrtiei neimpregnate

$$tg\delta_h = \frac{tg\delta_c}{1 + \varepsilon_c \frac{\gamma_c - \gamma_h}{\gamma_h}};$$

— în cazul hîrtiei impregnate

$$tg\delta_{hi} = \frac{tg\delta_c}{1 + \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_u} \frac{\gamma_c - \gamma_h}{\gamma_h}} + \frac{tg\delta_u}{1 + \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_c} \frac{\gamma_h}{\gamma_c - \gamma_h}},$$

unde:

$tg\delta_c$ este factorul de pierderi al celulozei;
$tg\delta_u$ — factorul de pierderi al uleiului;
ε_c — permitivitatea celulozei;
ε_u — permitivitatea uleiului;
γ_c — densitatea celulozei, g/cm³;
γ_h — densitatea hîrtiei, g/cm³;
γ_u — densitatea uleiului.

După Koriţkii [2] valorile recomandate în cadrul schemei serie pentru celuloză sînt: $\varepsilon_c = 6{,}5$ și $\gamma_c = 1{,}5$ g/cm³.

O perfecționare a acestei reprezentări este realizată de „schema serie paralelă" propusă de Sakamuto și Oshida în 1958 [1], în care sînt considerate și fibrele de celuloză orientate normal la suprafața hîrtiei. Potrivit acestei scheme valoarea densității celulozei se menține, însă $\varepsilon_c = 5{,}2$; de asemenea, se face evaluarea factorului de pierderi la 10°C și 50 Hz găsindu-se $tg\delta = 2{,}75 \cdot 10^{-2}$.

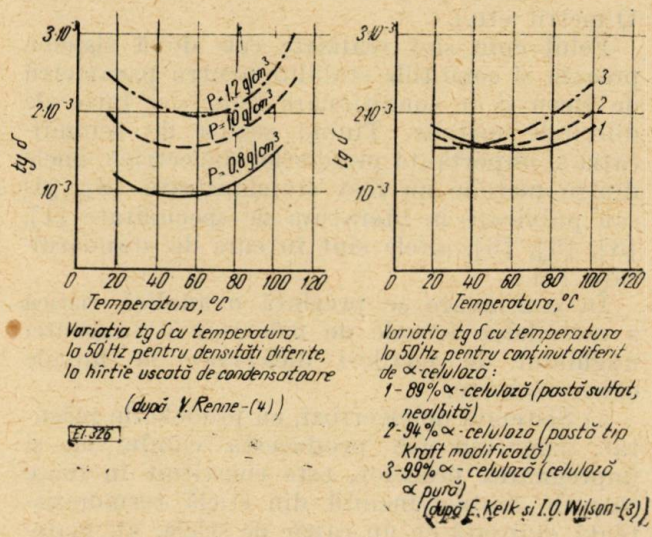


Fig. 1. Variația tg δ cu temperatura la 50 Hz pentru densități diferite, la hîrtia uscată de condensatoare.

Aplicarea acestor relații teoretice nu este însă satisfăcătoare în primul rînd datorită insuficienței schemelor model adoptate, față de complexitatea structurii hîrtiei și, în al doilea rînd, datorită faptului că nu se consideră influența unor factori ca: temperatura, structura fibrei de celuloză, starea de impuritate, frecvența cîmpului electric etc.

Pentru a ilustra influența diferiților factori asupra valorii pierderilor dielectrice, se reproduc curbele de variație a $tg\delta$, funcție de temperatură și densitate după [3] și [4].

Dacă se consideră frecvența de 50 Hz, ca o condiție impusă de practica din laboratoare și industrie, atunci curbele de variație cu temperatura indică valoarea de 60°C ca fiind optimă pentru determinarea tangentei unghiului de pierderi. La această temperatură, pentru densități și structuri celulozice deosebite, pierderile dielectrice la hîrtie au o valoarea minimă, curba prezentînd o porțiune quasiorizontală. Tot din această cauză determinările făcute în jurul acestei temperaturi dau erori minime,

* Ing. *V. Berinde* este șef de laborator la I.C.P.E. și fiz. *V. Stănculescu* este cercetător principal la același institut.

Consideraţiile teoretice cît şi cele experimentale arătate au dus la restricţiile pe care le prezintă căutarea unei metode corecte şi operative pentru determinarea valorii tangentei unghiului de pierderi.

2. Metodele principale actuale, de măsurare a tangentei unghiului de pierderi la hîrtiile electroizolante

Metodele de măsurare se referă în general la două părţi distincte :

— sistemul de electrozi cu probele de măsurat, inclusiv producerea vidului şi impregnarea hîrtiei ;

— sistemul propriu-zis de măsurare (punte, Q-metru etc.).

Felul cum sînt realizate cele două sisteme precum şi condiţiile stabilite pentru parametrii de lucru şi de condiţionare deosebesc între ele diferitele metode. Ţinînd seama de semnificaţia şi importanţa pierderilor dielectrice, unele dintre metode au fost standardizate [8], [9] sau publicate în literatura de specialitate [1], [3], [5], [6], altele sînt în curs de standardizare [11].

În continuare se prezintă o analiză critică a metodelor actuale de măsurare a tangentei unghiului de pierderi dielectrice la hîrtiile electroizolante.

a) Sistemul de electrozi, cu probele de măsurat, asigurînd atît producerea vidului cît şi impregnarea probelor, este constituit în toate cazurile dintr-o incintă din sticlă termorezistentă etanşată cu un capac de sticlă, alt material dielectric sau metal. Prevederile ASTM

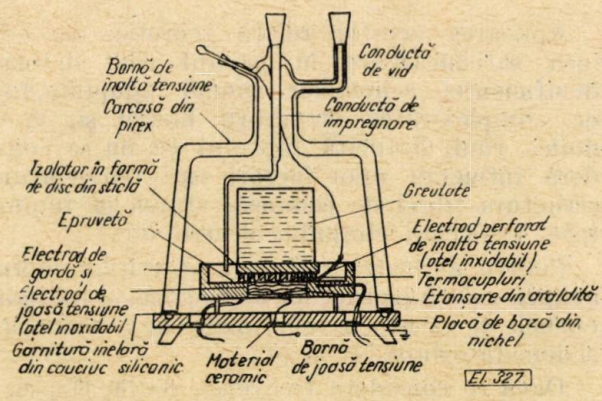


Fig. 2. Celulă experimentală pentru determinări ale tg δ la foi plane.

[8] şi experimentările lui Kelk şi Wilson [3], recomandă o celulă formată dintr-un clopot paralelipipedic închis la partea inferioară de o placă de nichel şi etanşat cu garnituri de cauciuc siliconic, fixate în şanţuri de ghidare.

Electrozii, prin dimensiunile lor mari (dreptunghiulari cu lungimea de 125 mm sau circulari cu diametrul de 76 mm), precum şi prin trecerile necesare conductelor pentru vid, pentru introducerea uleiului de impregnare, pentru electrozi şi termocuple, fac ca celula să fie relativ voluminoasă, cu o construcţie complicată şi costisitoare. Fiecare celulă are încălzirea electrică proprie, ceea ce nu asigură în mod riguros reproducerea aceloraşi condiţii pe un număr mai mare de probe, lucrînd simultan cu mai multe celule. Curăţarea celulei după terminare şi întreţinerea ei este mai laborioasă şi determinările, considerînd şi pregătirea aparaturii, durează mult (circa 16—18 ore, inclusiv condiţionarea şi impregnarea hîrtiilor).

O soluţie de „tratare colectivă" a epruvetelor, obţinîndu-se o productivitate mărită, este dată de Döhler Dieter [6]. Acesta experimentează un model de celulă cilindrică din sticlă termorezistentă etanşată cu un capac electroizolant şi, de asemenea, termorezistent. În interior sînt introduse epruvetele de hîrtie (discuri cu diametrul de 70 mm) între electrozii din foiţă de aluminiu (discuri cu diametru de 98 mm). În celulă pot fi introduse astfel pînă la 30 epruvete. Prin capacul celulei sînt practicate şi conductele pentru vid şi pentru uleiul de impregnare. Temperatura de lucru se obţine prin introducerea celulei în interiorul unui termostat cu ulei.

Metoda tratării colective a epruvetelor experimentată de Döhler are avantajul unei operativităţi mărite, dar nu asigură condiţiile de precizie şi acurateţă pe care le au procedeele recomandate în [8] şi [3].

O simplificare a tratării individuale este propusă de Kaliazina [5], care realizează o celulă din sticlă la care etanşarea se face pe o suprafaţă conică de contact între corpul şi capacul celulei. Deşi uşor de realizat şi de întreţinut, modelul propus are dezavantajul important că sub acţiunea dilatării termice şi vidului din celulă, la răcirea ei, se poate uşor bloca şi chiar distruge.

b) Condiţionarea epruvetelor se face în general în două etape :

— o precondiţionare în etuvă la temperatura de 105°C pînă la 115°C cu o durată de 10 la 24 ore funcţie de densitatea hîrtiei ;

— o condiţionare sub vid de ordinul lui 10^{-2} pînă la 10^{-3} torr la temperatura de măsurare, timp de 30—60 minute. Această condiţionare se face în celule de măsurare şi suficienţa ei este apreciată prin valorile constante ce se obţin măsurînd tangenta unghiului de pierderi.

Condiţionarea uleiului se face în prealabil în mod separat, sub vid de ordinul a 10^{-3} torr la temperatura de 105 sau 115°C timp de 4 la 6 ore. După [8], aceasta se poate face şi în celula de măsurare introducînd uleiul sub acelaşi vid şi la aceeaşi temperatură ca şi pentru măsurare, însă cu un debit redus de circa 4 cm³/min.

c) Temperatura de referinţă pentru măsurarea tgδ la hîrtia în stare uscată sau impregnată este de 60°C. Standardul japonez JIS 2306—60 [10] ca şi experimentările lui Döhler [6] indică temperatura de referinţă de 100°C respectiv 130°C, în ideea apropierii de condiţiile de lucru ale hîrtiilor electroizolante. După cum s-a arătat însă, variaţia tgδ în funcţie de temperatură, la aceste valori provoacă erori de măsurare şi dă rezultate ce nu se pot compara.

d) Tensiunea de măsurare este în general corespunzătoare unui gradient de 2000 V/mm. În GOST 1908—57 se indică un gradient de 4200—5000 V/mm, ceea ce ni se pare prea mult, în special pentru hîrtiile cu densităţi mici. Frecvenţa de lucru este de 50 Hz.

e) Impregnarea se face sub vid şi se consideră satisfăcătoare după 30 min sau cînd valorile tangentei unghiului de pierderi rămîn constante la temperatura considerată. În [8] se consideră o durată de 8 ore necesară impregnării.

f) Sistemul propriu-zis de măsurare este o punte tip Schering.

3. Metodă de măsurare a tangentei unghiului de pierderi experimentată la I.C.P.E.

Analiza metodelor amintite anterior a pus în evidenţă atît avantajele şi inconvenientele, cît şi caracterizarea metodelor necesare măsurării tangentei unghiului de pierderi.

În cadrul lucrărilor de cercetare pentru îmbunătăţirea calităţii hîrtiilor electroizolante, la I.C.P.E., s-a studiat, adaptat şi elaborat, o metodă generală care să asigure următoarele condiţii principale:

— studierea tuturor sortimentelor de hîrtie, inclusiv a cartoanelor subţiri (grosime sub 2 mm) atît în stare uscată cît şi impregnată;

— asigurarea acurateţei, condiţionării şi impregnării fiecărei epruvete în parte cît şi omogenităţii condiţiilor de lucru pentru mai multe epruvete în mod simultan;

— asigurarea în celulă a unui vid de 10^{-2} pînă la 10^{-3} torr şi a temperaturii constante şi controlate pînă la 130°C;

— asigurarea montării şi scoaterii uşoare a celulelor în instalaţia de măsurare şi în special a curăţării rapide şi eficace după impregnare;

— asigurarea controlului şi reglării la valorile dorite a temperaturii şi vidului;

— asigurarea determinării tgδ a uleiului de impregnare, concomitent cu determinările pentru hîrtiile impregnate;

— asigurarea unei precizii şi reproductibilităţii satisfăcătoare a rezultatelor;

— asigurarea unei operativităţi ridicate.

Principiul metodei este comun cu cel al metodelor analizate mai înainte, adică folosirea punţii pentru măsurarea capacităţilor în curent alternativ.

Instalaţia în ansamblu este compusă din două părţi principale:

— celule de măsurare cu sistemele de realizare pentru: vid, încălzire şi impregnare.

— puntea de măsurare cu aparatele anexe, precum şi parametrii de lucru şi de condiţionare.

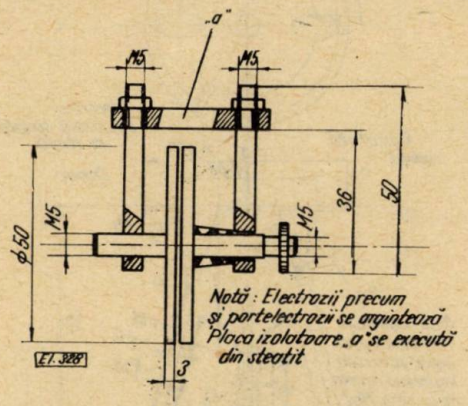


Fig. 3. Dispozitivul cu electrozi.

a) Celulele de măsurare sînt constituite dintr-un dispozitiv cu electrozi şi un recipient de sticlă cu capac etanş. Acest tip de celulă, destinat măsurării tgδ pe epruvete individuale este o adaptare a modelului prezentat în lucrarea [5]. Dispozitivul cu electrozi disc de diametrul 50 mm este confecţionat din oţel inoxidabil argintat (fig. 3). Suprafaţa electrozilor este astfel aleasă pentru a folosi celula şi la hîrtii cu grosimi mai mari. Unul dintre electrozi are pe suprafaţa de contact cîteva canale fine în scopul circulaţiei uleiului pentru o mai bună impregnare; suprafaţa însumată a acestor canale este foarte mică şi nu afectează măsurările de capacitate. Contactul dintre electrozi este asigurat de un arc special conic, se apasă cu o presiune de 80 gf/cm². Întreg dispozitivul cîntăreşte 135 g. Recipientul în care este introdus acest dispozitiv este confecţionat din sticlă Pirex sau Razoterm —, Dimensiunile şi forma celulei sînt arătate în figurele 4 şi 5.

Electrozii a căror trecere este asigurată prin capac sînt confecţionaţi din tungsten (sîrmă de Ø 8,8) sau din crom-nichel.

Deosebirea esenţială a celulei experimentată la I.C.P.E. faţă de alte tipuri similare [5] constă în felul în care este asigurată etanşeitatea. Astfel, acest model este prevăzut cu suprafeţe de contact plane. Etanşeitatea asamblării dintre corp şi capac este asigurată prin şlefuirea riguroasă a suprafeţelor şi aplicarea unsorilor de vid siliconice de mare consistenţă. În acest fel celula permite realizarea şi menţinerea îndelungată a unui vacuum mai mic decît 10^{-2} torr. Stabilitatea aderării capacului la corpul celulei, este asigurată prin 3 sau 4 arcuri spirale

din oțel, prinse de urechile din sticlă, practicate pe capacul și corpul celulei. Capacul este prevăzut cu treceri pentru vid, pentru uleiul de impregnare și pentru termocuplu.

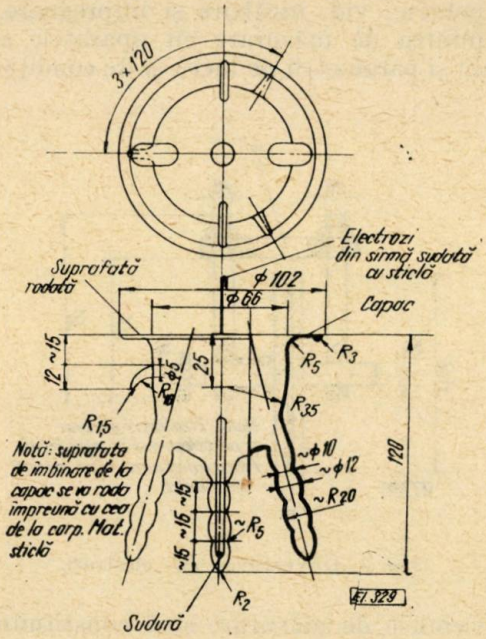


Fig. 4. — Celulă pentru încercarea hîrtiilor electroizolante (capacul).

Încălzirea celulelor de măsurare se face într-o cuvă metalică în baie de ulei. Un ultratermostat asigură constanța temperaturii ule-

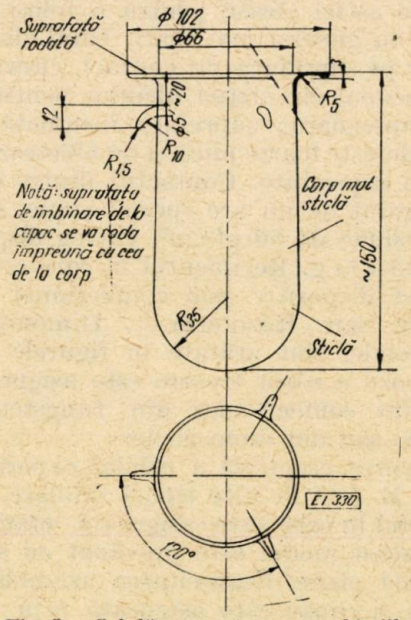


Fig. 5. — Celulă pentru încercarea hîrtiilor electroizolante (corpul).

iului cu precizie de $\pm 1°C$, pînă la valori ce depășesc temperatura de uscare a hîrtiei. Agentul de transfer termic folosit a fost uleiul de transformator 2004 A. Celulele sînt cufundate în uleiul din cuvă pînă la gulerul de etanșare. Menținerea lor în cuvă este asigurată de un cadru special în care sînt fixate cu ajutorul unor garnituri semielastice pentru a se evita apariția tensiunilor mecanice pe suprafața celulei. În cazul experimentat de autori, cadrul a fost realizat pentru cinci celule ce funcționează în paralel.

Uleiul de transformator dă degajări de vapori toxici la temperaturi mai mari de 40—50°C și din acest motiv întreaga instalație de încălzire este ținută sub nișă cu ventilație forțată. Controlul temperaturii uleiului se face în termostat și în cuvă cu termometre cufundate în ulei.

Temperatura electrozilor în celulă este măsurată cu un termocuplu, avînd ca aparat indicator un potențiometru compensator. Termocuplul folosit este cromel-copel care asigură o sensibilitate mărită la valorile de lucru ale temperaturii (pînă la 105°C).

Pentru obținerea vidului în celule, s-a folosit pompa de vid preliminar (pînă la 10^{-3} torr) și un sistem de distribuitoare din sticlă și conducte din cauciuc de vid la fiecare celulă. Aceste conducte, datorită atmosferei de vapori de ulei, sînt înlocuite după 500—600 ore de funcționare. Instalația este prevăzută cu un vacuummetru pe conducta principală de vid (de la pompă la distribuitor). În condițiile de etanșare corectă a celulelor, vidul de ordinul lui 10^{-2} torr este realizat în 1—2 minute și după oprirea pompei se menține la această valoare mai mult de trei ore.

Circuitul de impregnare este constituit dintr-un recipient cu capacitate de circa 1,2—1,5 l gradat pentru citirea nivelului și prevăzut cu un robinet de comandă a uleiului. Legătura cu celulele este asigurată de un distribuitor din sticlă cu conducte din PVC sau cauciuc siliconic. Uleiul deshidratat și degazat în prealabil este introdus în recipientul descris anterior și acoperit. Condiționarea prealabilă a uleiului se face în vid de 10^{-3} torr, în etuvă la 105°C timp de șase ore, în vase cu suprafață mare.

b) Puntea de măsură și aparatele anexe sînt constituite din :

— o punte Ulrich, în curent alternativ, putînd măsura capacități între 0,01 pF și 1000 μF, cu precizie de 0,1% pentru $C<1$ μF și 1% pentru $C>1$ μF și posibilitatea de măsurare a $\operatorname{tg}\delta$ pînă la 10^{-5} cu precizie de 1%. Frecvența de lucru de 50 Hz cu posibilitatea de măsurare pînă la 1000 V ;

— o serie de condensatoare etalon (modelul fix sau variabil) de tip Ulrich cu valori pînă la 10000 pF ;

— un amplificator de măsură care amplifică de 60 ori ;

— un galvanometru cu vibrații cu o constantă de ordinul lui $10^{-7} \frac{A}{div.}$.

Alimentarea s-a făcut iniţial de la reţeaua de 220 V prin autotransformator şi ulterior, pentru a se elimina perturbaţiile provocate de variaţiile tensiunei în reţea, s-a lucrat cu un generator de frecvenţă audio (tip ZG 12) la frecvenţa de 50 Hz şi un gradient al tensiunii de lucru de 2000 V/mm.

În locul punţii Ulrich se poate utiliza o punte Schering cu caracteristici asemănătoare.

c) Parametrii de lucru şi de condiţionare:

— Condiţionarea prealabilă a hîrtiei se face în etuvă la 105°C timp de 24 ore. Pentru condiţionare sînt, în prealabil, confecţionate epruvete de formă circulară cu un diametru de 60 mm. Hîrtia se introduce în dispozitivul cu electrozi, descris anterior, în 2—3 straturi pentru a asigura o grosime de 0,25—0,35 mm, măsurarea grosimii straturilor se face după condiţionare şi înainte de a fi introduse în dispozitiv şi în celulă. După scoaterea din etuvă şi pînă la introducerea în celule, epruvetele sînt păstrate în exicator cu agent de uscare.

— Condiţionarea suplimentară se face pînă cînd prin măsurări repetate ale tg δ, se obţin valori constante pentru epruvetele în stare uscată (circa 15—20 minute).

— Temperatura de referinţă pentru determinările în vid este de 60°C, iar determinările auxiliare pentru controlul condiţionării suplimentar al hîrtiei în celule de măsurare se fac la 105°C.

— Vidul la care se lucrează este de 5.10^{-2}—7.10^{-2} torr (ca şi în experimentările lui Kelk şi Wilson), [3].

— Impregnarea se face la temperatura de 60° C sub vid. Durata de impregnare este de 30—35 minute şi este controlată prin măsurări repetate ale tg δ, pînă se obţin valori constante.

— Plecînd de la temperatura camerei, se ajunge la valoarea de 105°C în circa 80 minute, iar răcirea la temperatura de 60°C se face mai lent, în circa 110—120 minute, astfel încît durata unui ciclu de măsurări este de 4 h 40′ pînă la 5 h.

— Practica a arătat că este bine ca cele cinci celule în care se fac determinări simultane să fie folosite astfel: trei celule pentru măsurarea tg δ la epruvetele de cercetat; o celulă pentru măsurarea tg δ a uleiului de impregnare la temperatura şi în condiţiile de măsurare. În acest caz pentru menţinerea distanţei între electrozi, se introduc bucăţi subţiri cu suprafeţe mici (2—3 mm²), din cuarţ; o celulă, pentru controlul temperaturii electrozilor în celulă.

Cunoaşterea tg δ la ulei este necesară pentru controlul caracteristicilor impregnantului şi sesizarea degradării lui, identificarea şi eliminarea unor erori produse în timpul măsurării şi de asemenea pentru cunoaşterea şi asigurarea reproductibilităţii rezultatelor.

4. Rezultate experimentale

În cadrul activităţii pentru îmbunătăţirea calităţii hîrtiilor electroizolante, la I.C.P.E., s-au cercetat loturile experimentale de hîrtii pentru cabluri de forţă, hîrtii de impregnare şi asimilarea hîrtiilor de telefonie.

Se dau rezultatele comparative la măsurarea tangentei unghiului de pierderi la loturile experimentale de hîrtie pentru cabluri de forţă (tabela 1).

Hîrtia experimentată a fost obţinută cu celuloză sulfat 100% din pastă de conifere de provenienţă finlandeză. Utilizată în fabricaţia cablurilor de forţă de 10 kV cu izolaţie de hîrtie, s-a observat la produsul finit o reducere a pierderilor dielectrice în proporţie de 40—45% faţă de produsul obţinut cu hîrtia pentru cablu de forţă de fabricaţie curentă, neîmbunătăţită.

5. Concluzii

— Metoda elaborată şi experimentată la I.C.P.E. se caracterizează, faţă de alte metode citate de literatură, prin tratarea individuală a epruvetelor, asigurarea constanţei parametrilor experimentali, o precizie satisfăcătoare, o pro-

Tabela 1

tg δ la hîrtia pentru cabluri de forţă, experimentală, îmbunătăţită în 1967

Numărul sulului / Specific. lotului	Sul nr. 1	Sul nr. 2	Sul. nr. 3	Sul nr. 4	Sul. nr. 5	Observ.
Lotul I	$2{,}6.10^{-3}$	$4{,}7.10^{-3}$	$3{,}4.10^{-3}$	$4{,}4.10^{-3}$	$3{,}5.10^{-3}$	5 suluri
Lotul II	$3{,}7.10^{-3}$	$3{,}9.10^{-3}$	$3{,}5.10^{-3}$	$3{,}8.10^{-3}$	$3{,}3.10^{-3}$	5 suluri
Lotul III	$1{,}9.10^{-3}$	$1{,}6.10^{-3}$	—	—	—	2 suluri

ductivitate ridicată şi un cost redus al celulei de măsurare.

— La I.C.P.E. metoda a fost folosită pentru lucrările de cercetare a îmbunătăţirii hîrtiilor electroizolante, obţinîndu-se rezultate bune la hîrtia pentru cabluri de forţă, hîrtia de impregnare precum şi în vederea asimilării hîrtiei pentru telefonie.

— Metoda propusă are aplicaţii şi în alte domenii ca de exemplu în cercetarea foliilor din mase plastice precum şi în cazul unor produse stratificate sau materiale cu structură fibroasă.

— Rezultatele experimentale obţinute au condus la îmbunătăţirea hîrtiei pentru cablu de forţă şi hîrtiei de impregnare şi concordă cu datele literaturii de specialitate privitor la relaţia dintre valoarea tg δ şi structura hîrtiilor electrotehnice.

Bibliografie

[1] *Riaux, E.* Contribution à l'étude des propriétés diélectriques du papier pour condensateurs. In : Revue générale d'électricité, tom **75**, Julliet-Aout, nr. 7—8, 1966.

[2] *Koriţkii, I. V.* Proizvodstvo, svoistva i primenenie elektroizoleaţionnînh ţeliuloznih bumag i kartonov. (Producţia, proprietăţile şi aplicaţiile hîrtiilor şi cartoanelor electroizolante celulozice). Moscova, Leningrad, Gosenergoizdat, 1963.

[3] *Kelk, E.* şi *Wilson, I.* Structura şi proprietăţile hîrtiei izolante folosite la construcţia echipamentelor de înaltă tensiune (după Proceeding of IEE, **112**, nr. 3, 1969, p. 606—612). In : Electrificare, electrotehnică, caiet selectiv IDT, nr. 7, 1965, p. 403—414.

[4] *Renne, V. T.* Zagadanie proprawienia jakosci papierowi electroizolacyanych (Problemele de ridicare a calităţi hîrtiei electroizolante). In : Prezeglad Elektrotechnicny **XLII**, nr. 7—8, 1966 p. 273—275.

[5] *Kaliazina, M.M.* Issledovania dielectriceschih pateri v izolaţionnîh bumagah (Cercetarea pierderilor dielectrice la hîrtiile izolante). In : Jurnal tehniceskoi fiziki-Moskova, tom. **XXV**. nr. 12, 1957, p. 2718 —2724.

[6] *Döhler Dieter.* Eine einfache Methode für Bestimmung des Verlustfactors von Isolierpapier (O metodă simplă pentru determinarea coeficientului de pierderi la hîrtii izolante). In : ATM **373**, 1967, p. 25—42.

[7] *Hollingsworth, D. T.* Paper insulation in the electrical industry (Izolaţia de hîrtie în industria electrotehnică In : Proceeding of IEE, vol. **113**, nr. 1, 1966, p. 89—98.

[8] ASTM-D-2413 65 T. Sampling and electrical testing of insulating treated paper with a liquid dielectric.

[9] GOST 1908—57. Gosudarstvennii Standardt. Bumaga kondensatornaia.

[10] JIS-C-2306-60. Japonesse Industrial Standard : High Tension Condenser Papers.

[11] DIN-6741-64-Isolierpapier für die Elektrotechnik Anforderungen Prüfverfahren.

Intrat în redacţie la 21.06.1968

Performanţele siguranţelor rapide cu fuzibile din argint fabricate de C.I.L.T.

ION BARBU, MARIA IANCU şi ELENA MAY* — Bucureşti

CZ 621.316.923.3.012.5

Aparatele şi dispozitivele de protecţie au cunoscut în ultima vreme o perfecţionare continuă, impusă de asigurarea unei fiabilităţi corespunzătoare proceselor tehnologice şi obţinerea unor instalaţii cu volum şi preţ de cost cît mai scăzut. Pe această linie generală s-a mers şi în cazul siguranţelor fuzibile unipolare cu filet, care au început să se diversifice din punctul de vedere al caracteristicilor de protecţie [1] şi al performanţelor impuse prin norme. Cerinţele normelor au crescut foarte mult în ultima vreme, impunînd condiţii dintre cele mai grele. Dacă ne referim numai la capacitatea de rupere se poate constata acest salt. Astfel capacitatea de rupere impusă de vechile norme [2], [3] era, pentru unele tipuri de siguranţe, de 1 500 A, crescînd în ultima vreme la 16 000 A, impusă de ultimele condiţii ale aceloraşi norme [4], [5]. Dar trebuie remarcat că pe lîngă exigenţele crescînde ale normelor, datele de catalog prezintă parametri încă neimpuşi de norme, sau unele performanţe care depăşesc cu mult prescripţiile normelor. Dintre acestea se menţionează numai : curenţii de scurtcircuit, deconectaţi cu siguranţele fuzibile ale unor firme, au valori care ajung şi chiar depăşesc 100 kA ; supratensiuni tranzitorii la deconectarea circuitelor reduse, în general factorul de supratensiune γ este mai mic de doi ; caracteristică de limitare a curentului bună ; efecte termice reduse, caracterizate prin valori scăzute ale I^2t etc.

În acest context, evident că se fac cercetări şi în ţara noastră pentru elaborarea şi asimilarea în producţie de noi tipuri de siguranţe cu performanţe la nivelul actual şi care să satisfacă condiţiile impuse de ultimele norme [4], [5]. Datorită unei colaborări fructuoase între I.C.P.E.

* Ing. *I. Barbu* este şeful secţiei Echipamente electrice din ICPE, iar ing. *M. Iancu* şi ing. *E. May* sînt specialişti în cadrul CILT.

şi C.I.L.T. a putut fi pusă în fabricaţie, în decurs de aproximativ un an, seria unitară de siguranţe unipolare cu filet cu performanţe îmbunătăţite. Cercetarea acestor siguranţe s-a făcut în anul 1966 iar producţia a început în anul 1967, fabricîndu-se în prezent circa 10 milioane patroane fuzibile pe an.

Dintre performanţele acestor siguranţe care merită evidenţiate se menţionează : curenţii de scurtcircuit obţinuţi sînt de 16 000 A (se specifică că nu au fost încercate siguranţele la curenţi mai mari de 16 000 A, deşi se presupune că au o capacitate de rupere mai mare de 16 000 A) ; supratensiuni tranzitorii de deconectare reduse în special la patroanele cu fuzibile din benzi ; efect limitativ al curentului de scurtcircuit pronunţat ; I^2t redus ; încălzire la borne redusă şi cădere de tensiune (pierderi) scăzută ; caracteristică de fuziune conform ultimelor norme etc.

1. Necesitatea elaborării unei noi serii de siguranţe

Elementul principal al siguranţelor îl constituie patronul fuzibil. Performanţele siguranţelor sînt dictate în special, de performanţele patroanelor fuzibile, iar perfecţionările ce se pot aduce siguranţelor fuzibile se fac în general prin îmbunătăţirea patroanelor respective [1], [6].

Caracteristicile seriei vechi de siguranţe. Patroanele fuzibile executate pînă la elaborarea noii serii au fost de tip închis în construcţie clasică cu material de umplere pentru stingerea arcului electric. Ca material pentru stingerea arcului electric s-a folosit nisipul de cuarţ. Piesele ceramice şi căpăcelele metalice nu diferă de construcţia clasică, dimensiunile lor sînt în limitele impuse de norme [5]. Elementul cel mai important al patronului, fuzibilul, se realiza dintr-un conductor rotund pentru curenţi nominali mici, iar pentru curenţi nominali mari, din mai multe fuzibile rotunde în paralel (soluţie inspirată după o serie de siguranţe străine şi din tradiţia C.I.L.T.). Siguranţele străine model sînt construite probabil pentru tensiunile de 220 V curent continuu, iar încercările impuse de noul STAS [5], trebuie efectuate cu tensiunea de 550 V curent alternativ şi cos $\varphi = 0{,}3$. Soluţia cu fuzibile din conductoare rotunde, pe lîngă capacitatea de rupere insuficientă, faţă de noile prescripţii ale normelor, nu are nici un caracter limitativ pentru curentul de scurtcircuit satisfăcător, iar supratensiunile tranzitorii la întreruperea circuitelor sînt mari ($\gamma > 2$). O altă constatare la tipul constructiv vechi a fost şi aceea că diametrul interior al pieselor ceramice era prea mic din care cauză funcţionarea la scurtcircuit nu era corespunzătoare.

Concepţii în alegerea noii soluţii. Construcţia siguranţelor fiind standardizată, îmbunătăţirea acestora se face în special prin realizarea în aceleaşi gabarite a patroanelor fuzibile cu caracteristici mai bune.

Progresele înregistrate în construcţia soclurilor, atît cu legături în faţă cît şi cu legături în spate şi a capacelor se referă la forma acestora. Dimensiunile principale au rămas aceleaşi, ele fiind normalizate. Îmbunătăţirile ce se pot aduce siguranţelor, atît în ceea ce priveşte caracteristica de protecţie, cît şi capacitatea de rupere se face deci prin noi construcţii de patroane fuzibile.

Încă un element care a impus revizuirea, în special a patroanelor, este creşterea continuă a puterii de scurtcircuit în instalaţiile industriale protejate cu astfel de siguranţe. Ca o consecinţă s-au schimbat şi prevederile normelor privind curenţii de scurtcircuit. Astfel, în VDE 0635/1.59 [3], curentul de scurtcircuit impus era de 1 500 A pentru siguranţe cu curent nominal mai mic de 25 A şi 5 500 A pentru siguranţe cu curent nominal mai mare de 25 A, iar conform ultimului VDE 0635/3.63 [4], curenţii de scurtcircuit la încercări au crescut la 4 000 A pentru siguranţele pînă la 25 A şi 8 000 A pentru siguranţele de 35—63 A şi 16 000 A pentru siguranţele cu curenţi nominali mai mari de 63 A [4], [5]. Aceiaşi curenţi de scurtcircuit sînt prevăzuţi şi de publicaţia 241—CEI [7]. Trebuie arătat că în ceea ce priveşte curenţii de scurtcircuit şi norma românească [5] prevede aceiaşi curenţi de scurtcircuit. Din această cauză tipul constructiv al patroanelor a fost schimbat astfel ca ele să aibă capacitatea de rupere impusă de normele specificate.

Siguranţele executate cu fuzibile rotunde, pentru curenţi nominali de 6 şi 10 A au funcţionat corect la curenţii de scurtcircuit de 4 kA iar siguranţele de 16 A funcţionează satisfăcător la curentul de 4 kA. Dacă aceste siguranţe sînt prevăzute şi cu căpăcele intermediare, funcţionarea lor este foarte bună. Siguranţele pentru curenţi nominali mai mari de 16 A nu funcţionează corect decît dacă sînt executate cu fuzibile din benzi ştanţate, prevăzute cu găuri pentru strangularea secţiunii. Din aceste considerente rezultă că noua soluţie adoptată constă în realizarea siguranţelor cu fuzibile rotunde pentru curenţii nominali pînă la 16 A inclusiv şi cu fuzibile sub formă de benzi pentru curenţii nominali mai mari de 16 A.

Siguranţele astfel realizate asigură, pe lîngă o capacitate de rupere sporită, cîteva performanţe cerute în ultima vreme pe plan mondial, dintre care se menţionează : efect limitativ al curentului de scurtcircuit pronunţat, supratensiunii tranzitorii la întreruperea circuitelor reduse, I^2 t redus etc.

2. Construcţia şi tehnologia adoptate

Majoritatea patroanelor executîndu-se cu fuzibile din benzi ştanţate au fost necesare unele îmbunătăţiri ale construcţiei şi tehnologiei. S-a urmărit, de asemenea, adoptarea unei construcţii şi tehnologii care să garanteze şi să asigure o reproductibilitate a performanţelor şi caracteristicilor.

Construcţia patroanelor. Modificarea fuzibilelor a impus modificarea dimensiunilor interioare ale patroanelor ceramice, dimensiunile exterioare fiind normalizate au fost respectate conform acestor prescripţii. Astfel, diametrul interior al pieselor ceramice a fost mărit. Mediul de stingere al arcului electric este format din nisip de cuarţ înnobilat special, cu un conţinut de SiO_2 mai mare de 98,5%.

Aşa cum s-a arătat, patroanele construite fac parte din clasa patroanelor clasice [8], [9] ale siguranţelor unipolare cu filet. Nu a putut fi folosită construcţia anterioară [9] din două motive. Primul, seria elaborată în 1961 a fost construită alegînd forme standard pentru fuzibil, aplicate la mai multe game de curenţi, realizate cu o diversitate mare de grosimi ale acestuia, iar în seria elaborată în prezent s-a mers pe grosimi standard şi pe forme diferite. Astfel, au fost alese grosimile de argint de 0,1; 0,15; 0,2 mm. Al doilea motiv este acela că diametrul interior al pieselor ceramice este diferit la soluţia adoptată faţă de soluţia din anul 1961. Caracteristicile pieselor ceramice realizate la Electroceramica-Turda şi folosite în soluţia din anul 1961 diferă de cele obţinute la CILT, unde se fabrică şi piesele ceramice.

Tehnologia patroanelor. Avînd în vedere producţia de masă, milioane de patroane pe an, s-a adoptat o tehnologie care să asigure o productivitate ridicată. S-au organizat benzi de montare după un flux tehnologic optim, astfel încît din piesele componente pregătite anterior, rezultă patroane la capătul benzii montate sub formă finală. Piesele componente se realizează prin presare şi matriţare, asigurîndu-se astfel calitatea şi dimensiunile impuse. De o atenţie deosebită s-a bucurat şi realizarea unor dispozitive speciale ca de exemplu: maşinile de sudat cu reglarea automată a timpului de sudură; dispozitiv de umplere cu nisip de cuarţ şi tasarea acestuia etc. Totul a fost astfel conceput încît să se asigure pe lîngă o productivitate ridicată şi o reproductitivitate a caracteristicilor şi performanţelor siguranţelor.

3. Experimentări

Norma care a stat la baza principalelor încercări a fost STAS [5]. Între condiţiile impuse de STAS [5] şi cele mai recente şi importante norme străine VDE [4] şi CEI [7] nu există diferenţe importante. Numai norma VDE [3] mai veche (din anul 1959) are condiţii diferite şi anume prevede încercarea siguranţelor la $2{,}5\,I_n$, $3\,I_n$ şi $4\,I_n$, actualul VDE [4] (din anul 1963) a renunţat la încercările la supracurenţii amintiţi, stabilind supracurenţii de $1{,}75\,I_n$, $5\,I_n$ şi $7\,I_n$.

Încercarea siguranţelor în regim nominal urmăreşte verificarea comportării funcţionării la curentul nominal. Parametrul cel mai important urmărit în această încercare este încălzirea. Încălzirea după VDE [4] şi CEI [7] pentru tipul de siguranţă construit se controlează prin căderea de tensiune, care nu trebuie să depăşească o anumită mărime. Norma românească [5] prevede aceleaşi condiţii ca normele amintite mai sus.

Încercările la supracurenţi au fost efectuate după indicaţiile STAS [5]. Condiţiile impuse de STAS nu diferă de cele impuse de recomandarea CEI [7] şi ultimul VDE [4].

Valoarea supracurentului la care siguranţele nu trebuie să se ardă este aceeaşi la toate normele întîlnite şi anume: $1{,}5\,I_n$ pentru siguranţele pînă la 10 A; $1{,}4\,I_n$ pentru siguranţele de 16 A la 25 A şi $1{,}3\,I_n$ pentru siguranţele mai mari de 25 A. Conform acestor condiţii au fot încercate şi siguranţele elaborate.

Curenţii de fuziune (curentul la care siguranţele trebuie să se ardă în mai puţin de o oră) indicaţi de STAS [5] sînt aceiaşi cu cei indicaţi de majoritatea normelor [4], [7]. Acest curent are următoarele valori: $1{,}9\,I_n$ pentru siguranţele de 6 şi 10 A; $1{,}75\,I_n$ pentru siguranţele de 16—25 A şi $1{,}6\,I_n$ pentru siguranţele cu curenţi nominali mai mari de 35 A inclusiv.

Datorită faptului că ultimul VDE [3] a renunţat la încercările la curenţii de 2,5; 3 şi $4\,I_n$ şi a fixat valoarea supracurentului la $7\,I_n$, şi noi am încercat siguranţele tot la $7\,I_n$. Timpii de fuziune indicaţi de STAS [5] şi de recomandarea CEI [4] pentru $7\,I_n$ coincid şi au valorile: pentru curenţii nominali de 6 şi 10 A este 0,1 s; pentru curenţii nominali de 16—25 A este 0,15 s şi pentru curenţii nominali de 35 pînă la 63 A este 0,20 s, pentru curenţii nominali de 80—100 A de 0,35 s.

Siguranţele elaborate au fost încercate numai cu tensiune alternativă întrucît ele vor fi folosite în curent alternativ. Valoarea tensiunii de încercare a fost de 550 V.

Încercarea la scurtcircuit poate fi făcută atît la siguranţele de curent alternativ, cît şi la cele de curent continuu în curent alternativ, cu condiţia ca scurtcircuitul să se producă după 30° electrice de la trecerea prin zero a tensiunii. Acest lucru face, aşa cum se vede pe oscilograme, să apară arcul electric şi rolul siguranţei de a rupe cînd tensiunea este maximă.

Această condiţie a putut fi realizată în I.C.P.E. datorită utilajelor special construite în acest scop. Siguranţele au fost încercate conform condiţiilor STAS [5], la următorii curenţi de scurtcircuit : siguranţele de 6—25 A la 4 000 A, siguranţele de 35—63 A la 8 000 A şi siguranţele de 80—100 A la 16 000 A, cu un factor de putere de 0,3.

Rezultate experimentale. În paragrafele precedente au fost prezentate încercările efectuate asupra seriei de siguranţe fuzibile, încercări la baza cărora au stat normele [4], [5]. Rezultatele obţinute au fost prelucrate şi se va prezenta numai sinteza lor. Datele din tabele reprezintă media aritmetică a zece rezultate.

În tabela 1 sînt prezentate rezultatele obţinute la încercarea siguranţelor la curenţii nominali. După cum se observă atît încălzirea cît şi căderea de tensiune sînt considerabil mai mici decît cele impuse de norme [4], [5]. Rezultatele obţinute la curentul de fuziune şi la curentul de încercare de 7 I_n precum şi la curenţi intermediari sînt prezentate în figura 5. De asemenea, se constată că sînt satisfăcute cu prisosinţă condiţiile impuse de normele amintite mai sus.

Tabela 1

Căderea de tensiune şi încălzirea la curent nominal

Curentul nominal	Căderea de tensiune, mV		Încălzirea la bornă °C
	obţinută	impusă de normă [5]	
6	532	650	9
10	346	450	12
16	307	370	20
20	268	330	25
25	220	300	30
35	238	270	30
50	202	240	34
63	202	220	41
81	159	200	44
100	147	190	53

Din numeroasele oscilograme obţinute la încercările de scurtcircuit şi suprasarcină se va prezenta spre ilustrare numai cîteva. În figura 1 se prezintă oscilograma întreruperii curentului de 7 I_n cu siguranţa de 63 A. După cum se observă timpul de întrerupere este mult mai mic (0,068 s) decît timpul impus de norme (valoare maximă 0,35 s), iar supratensiuni tranzitorii la deconectare practic nu există.

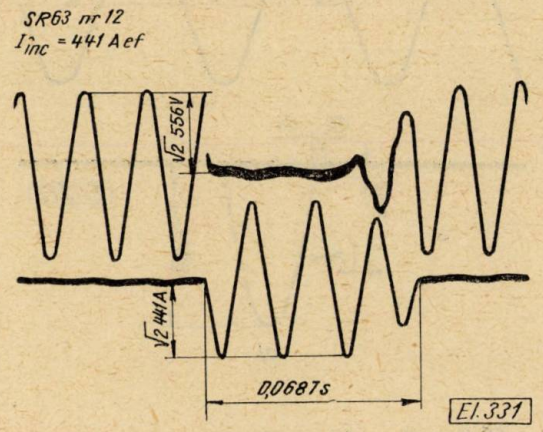


Fig. 1. Oscilograma întreruperii curentului de 441 A cu siguranţa de 63 A.

Aspect asemănător au şi celelalte oscilograme obţinute pentru ceilalţi curenţi nominali. Din încercările de scurtcircuit efectuate se prezintă spre ilustrare oscilogramele din figurile 2—4. Din oscilograme se constată că siguranţele au un puternic caracter limitativ la curenţii de scurtcircuit prevăzuţi de norme şi supratensiuni tranzitorii de deconectare reduse. Supratensiuni tranzitorii de deconectare mai mari s-au constatat la siguranţele cu fuzibile omogene, figura 2, la care arcul electric nu este fracţionat. La siguranţele cu fuzibile sub formă de bandă, cu secţiuni de strangulare dispuse în

Tabela 2

Valorile experimentale obţinute la încercările de scurtcircuit

Curentul nominal A	Curentul de încercare, valoare eficace stabilizată, A	Curentul de rupere, i_s, A	Timpii obţinuţi ms			Integrala pătratului curentului			cos φ	Supratensiunea tranzitorie de deconectare	
			timpul de fuziune, t_s	timpul de arc, t_a	timpul total, t	în perioada fuziune, I^2t_f, A²S	în perioada arcului, I^2t_f, A²S	totală, I^2t A²s		supratensiunea obţinută faţă de tensiunea armonică de 785 V	factorul de supratensiuni
6	4 030	275	0,71	0,72	1,43	18	18	36	0,227	1 131	1,44
10	4 030	550	0,84	0,77	1,61	84	772	161	0,227	1 700	2,17
16	4 030	1 045	1,04	0,93	1,97	379	340	719	0,227	1 834	2,34
20	4 030	1 142	1,25	1,2	2,45	545	522	1 067	0,227	1 834	2,34
25	4 030	1 179	1,67	1,62	3,29	765	750	1 515	0,227	1 270	1,62
35	7 740	1 821	1,05	1,37	2,42	1 171	1 085	2 256	0,235	1 318	1,68
50	7 740	2 389	1,38	1,6	2,98	2 664	3 156	5 820	0,235	1 304	1,66
63	7 740	3 443	1,58	1,8	3,38	6 332	7 288	13 620	0,235	1 330	1,70
80	16 600	3 860	1,56	5,70	7,26	7 712	28 196	35 908	0,245	786	1,00
100	16 600	5 060	1,98	6,16	8,14	16 896	52 588	69 484	0,245	878	1,12

lungul fuzibilului, arcul electric apare în serie în mai multe puncte (omida de întrerupere din fig. 4) şi supratensiunile de deconectare sînt reduse. S-ar părea din oscilograme că există

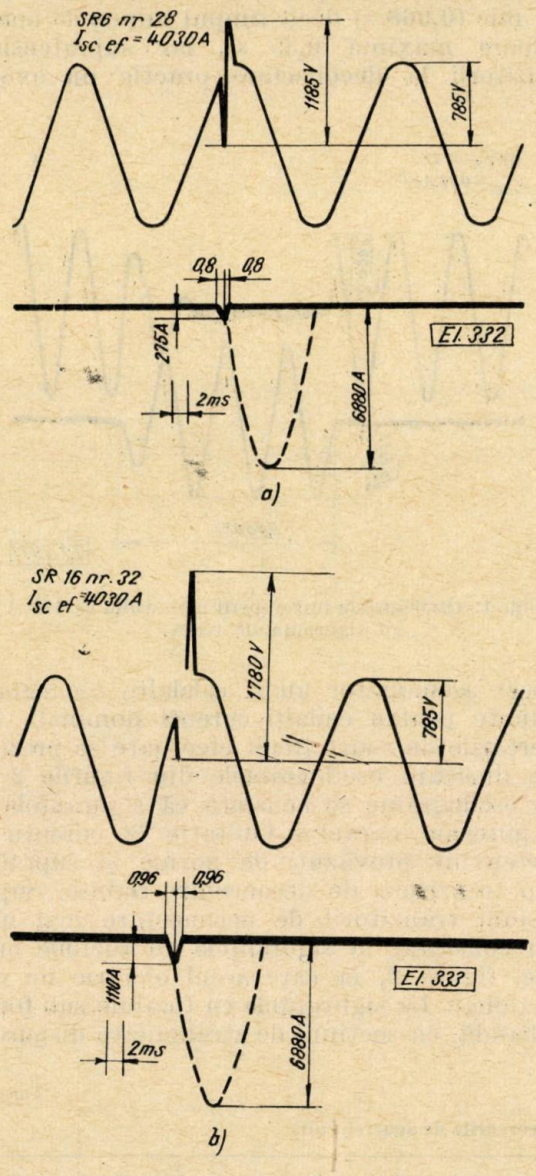


Fig. 2. Oscilograma întreruperii curenţilor de scurtcircuit cu siguranţe cu fuzibile rotunde omogene:
a – siguranţa de 6 A încercată la 4 030 A, cos φ = 0,3
b – siguranţa de 16 A încercată la 4 030 A, cos φ = 0,3.

o anumită selectivitate între siguranţele de curenţi nominali succesivi (fig. 3 şi 4), lucru ce se va prezenta ulterior pe baza calculului parametrului I^2t. În figura 6 este prezentată caracteristica de limitare a curentului obţinută în urma încercărilor efectuate.

Prelucrînd oscilogramele obţinute la încercările de scurtcircuit şi făcînd media aritmetică a celor zece încercări, s-au calculat anumiţi parametri prezentaţi în tabela 2. Rezultă că I^2t în perioada fuziunii este aproximativ egal cu I^2t în perioada arcului electric pentru siguranţele cu curenţi nominali pînă la 63 A inclusiv. Pentru siguranţele de 80 şi 100 A I^2t din perioada arcului este de circa trei ori mai mare decît I^2t în perioada fuziunii. De asemenea se constată că nu se poate vorbi de o selectivitate pentru mărimi succesive ale curenţilor nominali întrucît I^2t de fuziune al siguranţelor cu curent nominal superior celei precedente este în general mai mare decît I^2t total al siguranţei precedente. Selectivitatea poate fi garantată la siguranţe cu curenţi nominali mai mari cu două trepte 100 A faţă de 63 A, 35 A faţă de 20 A etc.

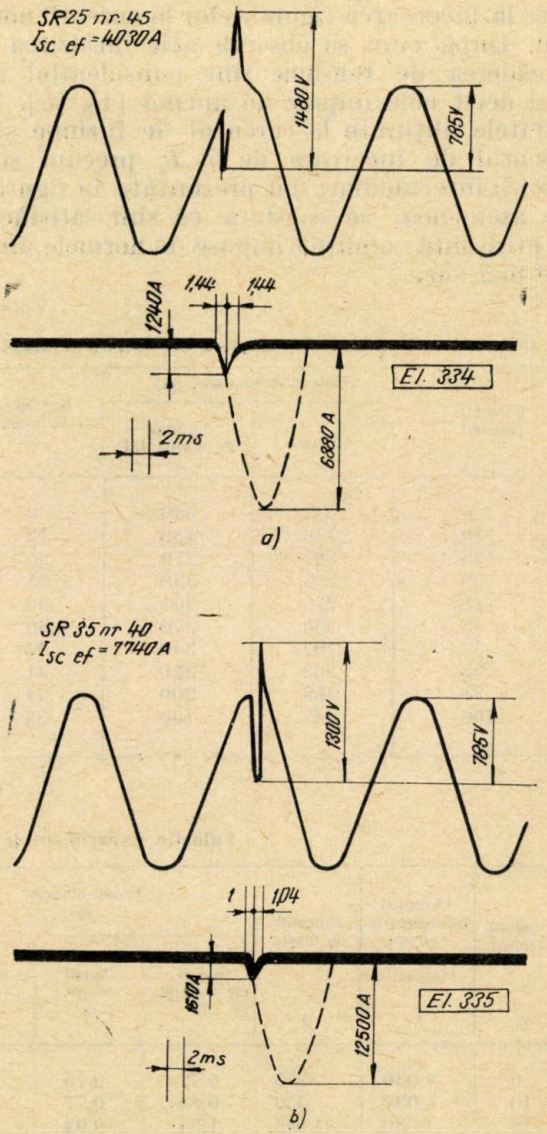
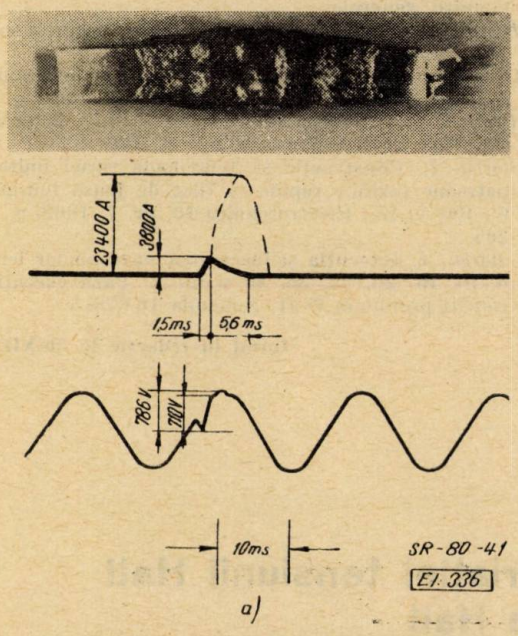


Fig. 3. Oscilogramele siguranţelor cu fuzibile în formă de bandă, încercate la scurtcircuit:
a – siguranţa de 25 A încercată la 4 030 A, cos φ = 0,3
b – siguranţa de 35 A încercată la 7 745 A, cos φ = 0,3.

Este interesant de observat că factorul de supratensiune este în general mai mare la

siguranţele cu fuzibile omogene şi mai mic la siguranţele cu fuzibile sub formă de benzi cu secţiuni strangulate. Dintre acestea cel mai mic factor de supratensiune s-a obţinut la



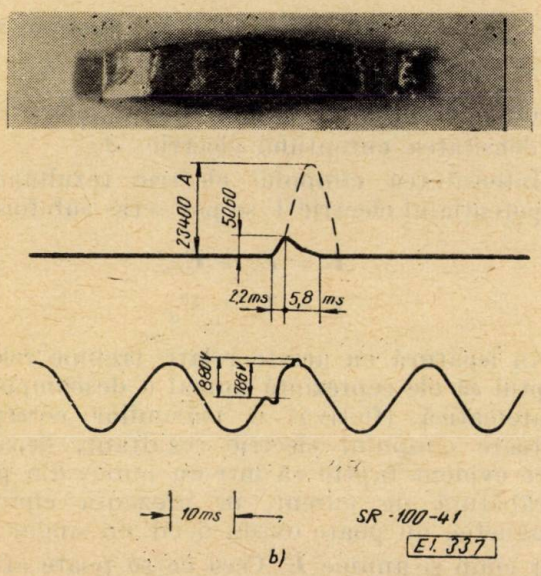


Fig. 4. Oscilogramele siguranţelor cu fuzibile sub formă de bandă foarte lată, încercate la scurtcircuit :
a — siguranţa de 80 A încercată la 16 600 A, cos φ = 0,3
b — siguranţa de 100 A încercată la 16 600 A, cos φ = 0,3.

siguranţele de 80 şi 100 A la care fuzibilul este realizat din benzi pe care sînt practicate cîte două rînduri de găuri în paralel. Omizile de întrerupere obţinute cu aceste siguranţe (fig. 4) arată că arcul electric nu apare în general pe toată lungimea fuzibilului.

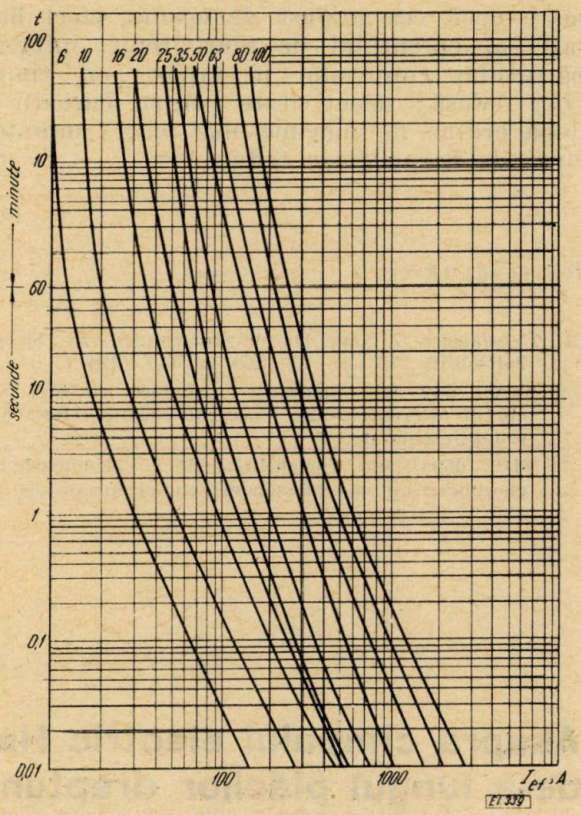


Fig. 5. Caracteristicile de fuziune.

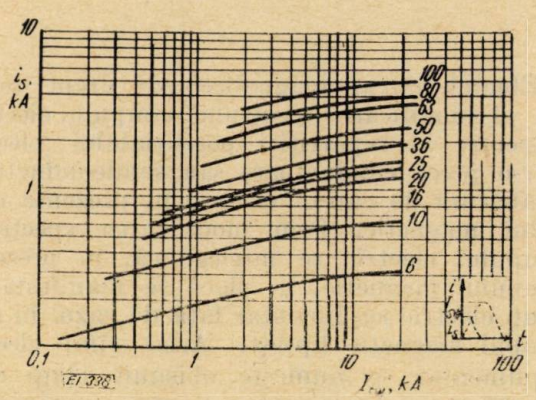


Fig. 6. Caracteristicile de limitare a curentului.

4. Concluzii

Din încercările efectuate asupra siguranţelor rapide de 6—100 A, cu fuzibile din Ag s-a constatat că acestea corespund tuturor condiţiilor impuse de normele cele mai recente [4], [5], [7] şi astfel au putut fi puse în fabricaţie. Procesul tehnologic a fost elaborat pentru o producţie de masă, fabricîndu-se numai în anul 1968 circa 10 milioane patroane fuzibile.

Siguranţele fabricate la C.I.L.T., pe lîngă asigurarea performanţelor impuse de norme, au o serie de parametri nenormaţi la nivelul siguranţelor străine. Dintre aceşti parametri merită evidenţiaţi : capacitatea de rupere mai

mare decît cea impusă de norme, efect limitativ al curentului de scurtcircuit, integrala pătratului curentului în raport cu timpul (I^2t) redusă; selectivitate pentru curenţii cu două ordine de mărime mai mari; supratensiuni de deconectare reduse etc.

Bibliografie

[1] *Hensimayer, G.* Neue Diazad-Sicherungen. În: Siemens Zeitschrift 33, nr. 6, 1959, p. 417—424.

[2] STAS 542—53. Siguranţe unipolare cu filet 500V curent alternativ, 220 V curent continuu 6—100 A. Condiţii generale.

[3] VDE 0635/1.59. Vorschriften für Leitungsschutzsicherungen mit geschlossenem Schmelzeinsatz 500 und 750 V bis 200 A.

[4] VDE 0635/3.63. Vorschriften lür Leitungsschutzsicherungen mit geschlossenen Schnelzeinsatz 500 V und bis 200 A einschleisslich. Sindervarschitten füflinke Leitungsschutzsicherungen für 750 V und für den Bergbau 500 V.

[5] STAS 452—66. Siguranţe unipolare cu filet 500 V curent alternativ, 220 V curent continuu, 6 la 100 A Condiţii generale.

[6] *Hensimayer, G.* Neue Diazed-Schmelzeinsätze. În: ETZ-B 7, nr. 4, 1965, p. 121—124.

[7] Coup-circuit à fusibles pour usages domestiques et analogues. Publication 241. Premier edition, 1968.

[8] *Predoiu, A.* Evoluţia siguranţelor fuzibile în ţara noastră. În: Electrotehnica 9, nr. 12, 1961.

[9] *Barbu, I.* Construcţia şi tehnologia seriei unitare de patroane fuzibile rapide cu filet de joasă tensiune de 6—100 A. În: Electrotehnica 10, nr. 7, 1962, p. 256—265.

[10] *Barbu, I.* Execuţia şi încercarea patroanelor lente de 6, 10, 16, 20, 25, 35, 50 şi 63 A. Faza execuţie, încercări problema D-41, comanda 16 878.

Intrat în redacţie la 30.XII.1968

Asupra cîmpului electric Hall şi variaţiei tensiunii Hall de-a lungul plăcilor dreptunghiulare Hall

CONSTANTIN ŞORA* — Timişoara

CZ 621.317.42.001.57 : 538.682

Efectele galvanomagnetice apar drept rezultat al modificării spectrului cîmpului electric, respectiv al repartiţiei potenţialului electric într-o placă conductoare sau semiconductoare străbătută de curent electric în prezenţa cîmpului magnetic. Prin modificarea spectrului cîmpului electric se înţelege că, în prezenţa cîmpului magnetic, în placă se manifestă un cîmp electric suplimentar faţă de cazul în care cîmpul magnetic lipseşte. Acest cîmp electric suplimentar se numeşte obişnuit cîmp electric Hall, iar intensitatea de cîmp corespunzătoare, intensitatea cîmpului electric Hall $\boldsymbol{E}_H$. Fiind un cîmp potenţial, în studiu se introduce şi potenţialul Hall $\mathbf{V}_H$, putîndu-se scrie $\boldsymbol{E}_H = -\nabla V_H$.

În absenţa cîmpului magnetic, în fiecare punct din placa străbătută de curent se pot defini mărimile: intensitatea cîmpului electric (electrocinetic) $\boldsymbol{E}_c$; potenţialul electric (electrocinetic) V_c şi densitatea curentului electric, $\boldsymbol{J}_c$. În prezenţa cîmpului magnetic, mărimile ce intervin sînt în general diferite de primul caz, ele fiind: intensitatea cîmpului electric rezultant, $\boldsymbol{E}$; potenţialul electric, V şi densitatea curentului electric. $\boldsymbol{J}$.

Intensitatea cîmpului electric rezultant $\boldsymbol{E}$ şi potenţialul electric V se pot scrie sub forma:

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_c + \boldsymbol{E}_H, \tag{1}$$

$$V = V_c + V_H. \tag{2}$$

În legătură cu aceste relaţii trebuie relevat faptul că ele reprezintă numai o descompunere matematică (fictivă) a mărimilor corespunzătoare cîmpului electric rezultant, deoarece este evident faptul că într-un punct din placa străbătută de curent, în prezenţa cîmpului magnetic, nu poate exista decît un singur vector cîmp şi anume $\boldsymbol{E}$. Ceea ce se poate afirma cu siguranţă este doar faptul că acest cîmp rezultant este contribuţia atît a sursei de alimentare, cît şi a cîmpului electric suplimentar Hall. Cît este însă de mare contribuţia sursei şi cît este aceea a cîmpului Hall este foarte greu de spus, iar în final acest lucru nici nu prezintă importanţă. După cum se va vedea, există mai multe variante posibile de descompunere a mărimilor corespunzătoare cîmpului electric rezultant.

Mărimile corespunzătoare cîmpului Hall se pot defini pe baza relaţiilor (1) şi (2). Definirea

* Dr. ing. *C. Şora* este profesor la Institutul politehnic Timişoara.

în acest mod a intensității cîmpului electric Hall, E_H, pentru o placă Hall de o formă oarecare, a fost făcută în [1], cu precizarea că în această lucrare s-a considerat intensitatea cîmpului electrocinetic corespunzătoare valorii conductivității materialului semiconductor în prezența cîmpului magnetic.

În literatura de specialitate, studiul cîmpului din plăcile dreptunghiulare Hall se referă obișnuit la cîmpul electric rezultant și nu la cîmpul Hall [2], [4], [5]. Această situație se explică, în principal, prin faptul că condițiile pe frontieră pentru cîmpul electric Hall sînt relativ mai complicate decît pentru cîmpul electric rezultant, ceea ce conduce implicit la o rezolvare pe cale analitică mai dificilă a problemei. Se cunosc puține lucrări în care autorii se referă distinct la cîmpul Hall. Un astfel de caz este cel al plăcilor dreptunghiulare de lungime infinită, cînd condițiile pe frontieră pentru cîmpul Hall devin simple din motive de simetrie. În cazul plăcilor dreptunghiulare de dimensiuni finite, studiul cîmpului operînd direct cu cîmpul Hall a fost abordat în general în condiții pe frontieră simplificate [3].

În prezenta lucrare se analizează principalele aspecte și caracteristici ale cîmpului Hall. Se consideră plăci semiconductoare dreptunghiulare, de dimensiuni finite, cu electrozii de comandă lipiți pe întreaga lățime a acestora. Pentru determinarea spectrului cîmpului Hall s-a ales o cale indirectă și anume plecînd de la spectrul cîmpului electric rezultant. Cîmpul electric rezultant a fost presupus cunoscut, fiind determinat pe baza unei metode prezentate de autor într-o lucrare anterioară [6]. O problemă distinctă urmărită în lucrare este variația potențialului Hall și a tensiunii Hall de-a lungul plăcii. Rezultatele obținute în legătură cu această problemă se compară cu cele deduse în lucrarea [3], pentru a putea aprecia aproximațiile ce rezultă în ultimul caz.

În lucrare se consideră generatorul Hall în regim staționar, la funcționarea în gol. Cîmpul din placa Hall este plan-paralel.

Stabilirea unor condiții pentru cîmpul electric Hall

Mărimile corespunzătoare cîmpului Hall, obținute prin descompunerea cîmpului electric rezultant pe baza relațiilor (1) și (2) trebuie să satisfacă anumite condiții. Astfel, este evident faptul că trebuie să se obțină aceleași efecte (rezultate) fie că se pleacă de la mărimile cîmpului electric rezultant, fie dela cele ale cîmpului Hall.

Descompunerea cîmpului electric rezultant depinde de condițiile de alimentare ale plăcii, care poate fi realizată la tensiune constantă sau la curent constant.

În figura 1 este reprezentată o placă Hall străbătută de curentul I și plasată într-un cîmp magnetic, de inducție magnetică B.

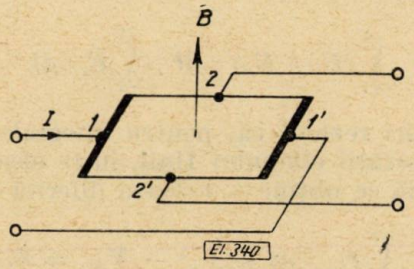


Fig. 1. Placă dreptunghiulară Hall cu electrozi de comandă plini.

Electrozii Hall 2 și 2′ sînt punctiformi, iar poziția lor este presupusă astfel aleasă, încît în absența cîmpului magnetic, diferența de potențial dintre ei să fie nulă. Aceasta înseamnă că :

$$\int_2^{2'} \boldsymbol{E}_c \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = 0. \tag{3}$$

Se consideră întîi alimentarea plăcii la tensiune constantă $V_1 - V_{1'} = U_1 = \text{const}$. În acest caz, integrala de linie a intensității cîmpului electric între electrozii de comandă 1 și 1′ este aceeași, atît în lipsa cîmpului magnetic cît și în prezența acestuia.

Se poate deci scrie :

$$U_1 = \int_1^{1'} \boldsymbol{E}_c \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \int_1^{1'} (\boldsymbol{E}_c + \boldsymbol{E}_H)\, \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \text{const}, \tag{4}$$

de unde rezultă :

$$\int_1^{1'} \boldsymbol{E}_H \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = -\int_1^{1'} \nabla V_H \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = V_{H1} - V_{H1'} = 0. \tag{5}$$

Cu alte cuvinte, în acest caz diferența de potențial Hall dintre electrozii de comandă este nulă, deci electrozii de comandă se găsesc la același potențial Hall ($V_{H1} = V_{H1'}$).

Integrala de linie a intensității cîmpului electric rezultant $\boldsymbol{E}$ între punctele 2 și 2′ este egală cu tensiunea Hall, U_H. Tensiunea Hall, pe de altă parte, trebuie să fie egală și cu integrala de linie, între aceleași puncte, a intensității cîmpului Hall, $\boldsymbol{E}_H$. Ținînd seamă de relațiile (1) și (3), se observă că această condiție este în adevăr îndeplinită, deci :

$$U_H = \int_2^{2'} \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \int_2^{2'} \boldsymbol{E}_H \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l}. \tag{6}$$

În ceea ce privește curentul electric, se știe că din cauza efectului magnetorezistiv el

se micşorează, deci avem :

$$\left|\int_s \boldsymbol{J}\cdot \mathrm{d}\bar{\boldsymbol{s}}\right| < \left|\int_s \boldsymbol{J}_c\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s}\right|. \qquad (7)$$

Se consideră alimentarea plăcii la curent constant, $I_1 = \text{const}$. În acest caz :

$$\int_1^{1'} (\boldsymbol{E}_c + \boldsymbol{E}_H)\ .\ \mathrm{d}\boldsymbol{l} > \int_1^{1'} \boldsymbol{E}_c \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l}. \qquad (8)$$

De aici rezultă că, pentru integrala de linie a intensităţii cîmpului Hall, între electrozii de comandă se obţine o valoare diferită de zero :

$$\int_1^{1'} \boldsymbol{E}_H \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = V_H{}^1 - V_{H1'} \neq 0, \qquad (9)$$

ceea ce înseamnă că electrozii de comandă nu se mai găsesc la acelaşi potenţial Hall. Ei fiind metalici, fiecare în parte are un potenţial Hall constant, însă pentru cei doi electrozi potenţialele Hall sînt diferite.

În ceea ce priveşte integrala de linie a lui $\boldsymbol{E}_H$ între punctele 2 şi 2′, se obţine acelaşi rezultat ca şi în primul caz (6).

Curentul fiind presupus constant, se obţine :

$$I = \int_s \boldsymbol{J}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s} = \int_s \boldsymbol{J}_c\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s}. \qquad (10)$$

Se poate arăta că descompunerea mărimilor corespunzătoare cîmpului electric rezultant pe baza relaţiilor (1) şi (2) nu este singura posibilă.

Se consideră, în locul relaţiei (1), următoarea descompunere a intensităţii cîmpului electric rezultant :

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}'_c + \boldsymbol{E}'_H = k\,\boldsymbol{E}_c + \boldsymbol{E}_H, \qquad (11)$$

în care k este un număr real, mai mare decît zero ($k>0$). Aceasta înseamnă că, în locul componentei $\boldsymbol{E}_c$, s-a considerat un vector $\boldsymbol{E}'_c = k\,\boldsymbol{E}_c$, diferit ca valoare de $\boldsymbol{E}_c$ însă omoparalel cu acesta. Desigur că în aceste condiţii şi $\boldsymbol{E}'_H$ va fi diferit de $\boldsymbol{E}_H$.

Din punctul de vedere al efectului Hall, descompunerea pe baza relaţiei (11) este echivalentă cu cea dată de relaţia (1). În adevăr, este uşor de văzut că, dacă relaţia (3) este satisfăcută, şi integrala de linie a intensităţii cîmpului electric $\boldsymbol{E}_c$, între punctele *2* şi *2′*, este nulă deoarece :

$$\int_2^{2'} \boldsymbol{E}'_c \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = k\int_2^{2'} \boldsymbol{E}_c \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l}. \qquad (12)$$

De aici rezultă că şi în cazul descompunerii pe baza relaţiei (11) integrala de linie a intensităţii cîmpului electric Hall $\bar{\boldsymbol{E}}'_H$, între punctele *2* şi *2′*, este egală cu integrala de linie între aceleaşi puncte, a intensităţii cîmpului electric rezultant :

$$U_H = \int_2^{2'} \boldsymbol{E}'_H \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \int_2^{2'} \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l}. \qquad (13)$$

Cu alte cuvinte, teoretic există mai multe descompuneri posibile, respectiv se pot defini mai multe cîmpuri electrice suplimentare, pentru care rezultă aceeaşi tensiune Hall. Desigur că diferitelor variante, obţinute pe baza relaţiei (1) respectiv (11) la acelaşi spectru pentru cîmpul electric rezultant, le corespund spectre electrice diferite pentru cîmpul electric Hall. În practică, se pot face referiri la descompunerea care se efectuează mai uşor şi care presupune cele mai simple calcule.

Spectrul cîmpului electric Hall

Se pune problema determinării spectrului cîmpului electric Hall, presupunînd cunoscut cîmpul electric rezultant, respectiv spectrul acestuia.

Descompunerea cîmpului electric rezultant este avantajos să se refere la potenţiale, deoarece operaţiile ce se efectuează asupra acestor mărimi sînt algebrice, în timp ce dacă ne referim la vectorii cîmp, aceste operaţii sînt geometrice. Se presupune deci cunoscute liniile echipotenţiale corespunzătoare cîmpului electric rezultant, care se consideră plan-paralel.

Ţinînd seamă de relaţia (2), potenţialul Hall într-un punct din placă se obţine făcînd diferenţa potenţialelor V şi V_c ($V_H = V - V_c$). Desigur că trebuie ţinut seamă de faptul că potenţialul electric se determină cu aproximaţia unei constante, iar în ceea ce priveşte potenţialele de referinţă acestea se pot alege astfel încît să rezulte calcule cît mai simple.

Deoarece descompunerea cîmpului electric rezultant, deci implicit şi spectrul cîmpului Hall, depinde de condiţiile de alimentare ale plăcii, acestea trebuie specificate. În ceea ce priveşte spectrul cîmpului electric rezultant, la unghiul Hall constant, $\theta = \text{const}$, acesta este independent de condiţiile de alimentare. Dacă, la $\theta = \text{const}$, curentul de comandă se modifică, rezultă numai o schimbare pentru scara mărimilor ce intervin, deoarece după cum se ştie tensiunea Hall este direct proporţională cu curentul de comandă.

Pentru exemplificare ne vom referi la cîmpul dintr-o placă Hall, avînd raportul dintre laturi $\lambda = a/b = 2$, la un unghi Hall $\theta = 45°$ (fig. 2).

În figura 2, liniile echipotenţiale corespunzătoare cîmpului electric rezultant ($V = \text{const}$) s-au trasat cu linie plină. În aceeaşi figură cu linie întreruptă s-au trasat liniile echipotenţiale, în absenţa inducţiei magnetice ($V_c = \text{const}$).

Spectrul cîmpului electric rezultant din figura 2 s-a determinat pe cale experimentală, pe baza metodei modelării electrocinetice [6].

Se consideră întîi alimentarea plăcii la tensiune constantă , $U_1 = \text{const}$. În acest caz, conform relaţiei (5), electrozii de comandă *1* şi *1'* au acelaşi potenţial Hall. Pentru simplicitate se poate considera $V_{H_1} = V_{H_{1'}} = 0$. Deoarece alimentarea este la tensiune constantă, se mai presupune că electrozii de comandă se găsesc la aceleaşi potenţiale, atît în lipsa cît şi în prezenţa cîmpului magnetic. În aceste condiţii se obţine spectrul cîmpului Hall, reprezentat în figura 3a. În această figură, pentru diferite linii echipotenţiale trasate sînt indicate valorile relative ale potenţialelor Hall şi anume raportate la tensiunea aplicată electrozilor de comandă.

În legătură cu spectrul cîmpului Hall din figura 3a se relevă forma liniilor echipotenţiale şi simetria pe care cîmpul Hall o satisface. Considerînd un sistem de coordonate în centrul plăcii, rezultă $V_H(x, y) = -V_H(-x, -y)$. Spectrul nu este însă simetric faţă de mijlocul plăcii, respectiv faţă de axa *oy*. Determinîndu-se spectrele cîmpului Hall şi pentru alte valori ale mărimilor λ şi θ, s-a putut constata că depinde atît de λ cît şi de θ. Nesimetria faţă de mijlocul plăcii scade cu θ. În mod obişnuit în aplicaţiile tehnice intervin unghiuri Hall, θ, mai mici decît 45°. La valori relativ mari ale lui θ, particularităţile cîmpului Hall ies mai bine în evidenţă.

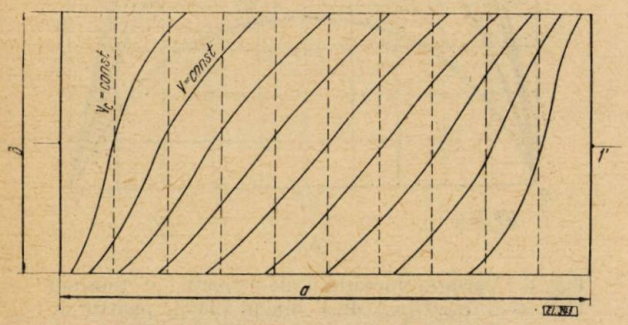


Fig. 2. Liniile echipotenţiale din placa Hall, în lipsa cîmpului magnetic (linie punctată) şi în prezenţa cîmpului magnetic (linie plină), pentru $\lambda = 2$ şi $\theta = 45°$.

Determinarea spectrului cîmpului Hall la curent de comandă constant este relativ mai dificilă, deoarece în acest caz potenţialele Hall ale electrozilor de comandă nu mai sînt egale (9), iar tensiunea aplicată acestor electrozi în prezenţa cîmpului magnetic, $U_1(B)$, este mai mare decît în absenţa cîmpului magnetic, $U_1(0)$. Notînd cu k_r, factorul de creştere al rezistenţei plăcii se obţine $U_1(B) = k_r U_1(0)$, unde $k_r > 1$. Plecînd de la acelaşi cîmp electric rezultant (fig. 2), în figura 3b este reprezentat spectrul cîmpului Hall, în ipoteza unui curent de alimentare constant $I = \text{const}$. Pentru factorul de creştere al rezistenţei s-a introdus valoarea $k_r = 1{,}2$ [4]. În figura 3b potenţialul de referinţă zero s-a considerat în centrul plăcii. Se observă din figura 3b că forma liniilor echipotenţiale ale cîmpului electric Hall depinde în adevăr de condiţiile de alimentare.

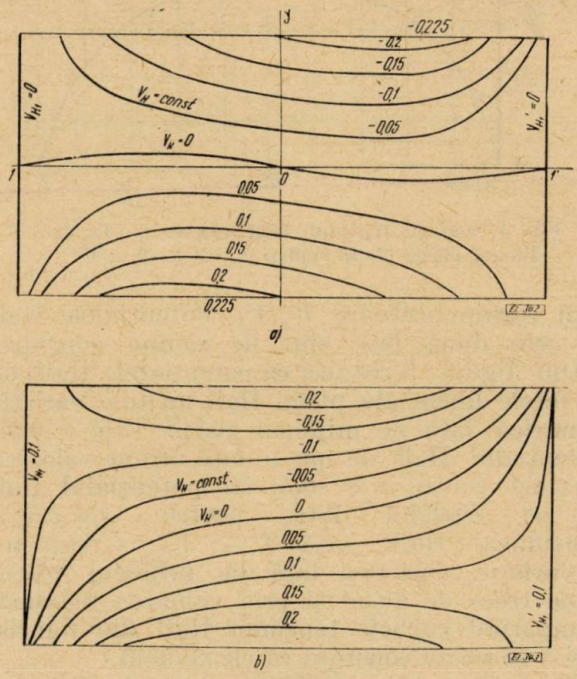


Fig. 3. Spectrul cîmpului electric Hall pentru $\lambda = 2$ şi $\theta = 45°$:
a – la tensiune constantă ($U_1 = \text{const}$) *b* – la curent constant ($I_1 = \text{const}$).

Variaţia potenţialului Hall şi a tensiunii Hall de-a lungul plăcii

Dacă spectrul cîmpului electric rezultant din placa Hall este cunoscut, se poate determina în mod simplu tensiunea Hall de-a lungul acesteia [6]. Rezolvarea aceleiaşi probleme pe baza metodei reprezentărilor conforme este mult mai dificilă. Variaţia tensiunii Hall de-a lungul plăcii se poate determina şi direct pe cale experimentală.

În figura 4 este reprezentată variaţia tensiunii Hall de-a lungul plăcii Hall, pentru $\lambda = 2$ şi $\theta = 45°$, plecînd de la spectrul cîmpului electric rezultant din figura 2. Placa se consideră cu latura *a* după axa ox. În figura 4 tensiunea Hall este raportată la tensiunea de alimentare U_1 a plăcii.

Ţinînd seamă de relaţia (6), tensiunea Hall care se determină din spectrul cîmpului electric rezultant trebuie să fie egală cu aceea dedusă din spectrul cîmpului Hall. Dacă se notează cu V_{H_s} potenţialul Hall într-un punct de pe faţa liberă superioară a plăcii şi cu V_{H_i} po-

tenţialul Hall în punctul simetric de pe faţa inferioară, tensiunea Hall între cele două puncte este $U_H = V_{Hs} - V_{Hi}$. În figura 5 este reprezentată variaţia de-a lungul plăcii a valorilor relative ale potenţialelor Hall de pe cele două feţe, V_{Hs}/U_1 şi V_{Hi}/U_1 şi a tensiunii

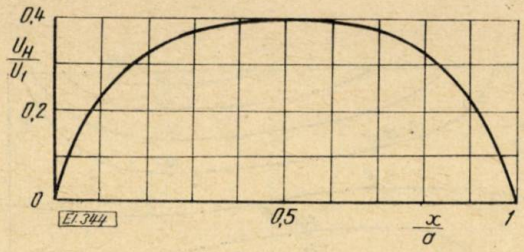


Fig. 4. Variaţia tensiunii Hall relative U_H/U_1 de-a lungul plăcii Hall, pentru $\lambda = 2$ şi $\theta = 45°$.

Hall corespunzătoare U_H/U_1. Potenţialele Hall pe cele două feţe sînt de semne contrare.

Din figura 5 rezultă că potenţialele Hall, de pe feţele libere ale plăcii Hall, nu au o variaţie simetrică faţă de mijlocul plăcii ($x/a = 0{,}5$). Potenţialul Hall de pe o faţă atinge valoarea maximă pentru $x/a > 0{,}5$, iar potenţialul Hall de pe cealaltă faţă, pentru $x/a < 0{,}5$. Tensiunea Hall însă $U_H = V_{Hs} - V_{Hi}$, are o variaţie simetrică faţă de mijlocul plăcii, unde trece de altfel şi prin valoarea maximă. Comparînd curbele tensiunii Hall din figurile 4 şi 5 se poate constata că ele coincid.

Dacă s-ar fi considerat spectrul cîmpului Hall determinat în ipoteza unui curent de alimentre constant (fig. 3 b), ar fi rezultat alte curbe de variaţie ale potenţialelor pe cele două feţe. Pentru tensiunea Hall corespunzătoare ar fi rezultat însă aceeaşi curbă de variaţie, cu singura observaţie că pentru tensiunea Hall s-ar fi obţinut în acest caz valori de k_r ori mai mari.

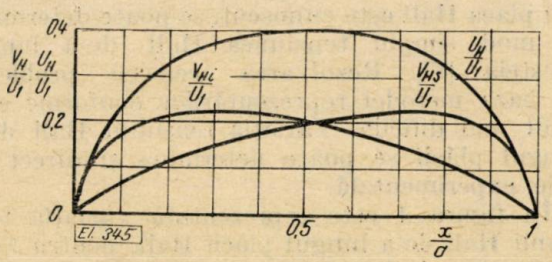


Fig. 5. Variaţia de-a lungul plăcii Hall a valorilor relative ale potenţialelor Hall V_{Hs}/U_1 şi V_{Hi}/U_1 şi a tensiunii Hall U_H/U_1, pentru $\lambda = 2$ şi $\theta = 45°$.

În figura 6a s-a reprezentat variaţia factorului de corecţie al tensiunii Hall, $G(\theta,\lambda) = U_H/U_{H\infty}$, de-a lungul plăcii Hall, considerînd diferite valori ale lui λ, pentru $\theta = 45°$, iar în figura 6b aceleaşi curbe, pentru $\theta = 10°$.

Din figura 6 se observă că, la acelaşi λ, factorul de corecţie al tensiunii Hall, respectiv tensiunea Hall, depind într-o măsură destul de mare de θ. Se poate verifica însă că valorile relative ale factorului de corecţie, obţinute prin raportarea valorilor din figura 6 la valoa-

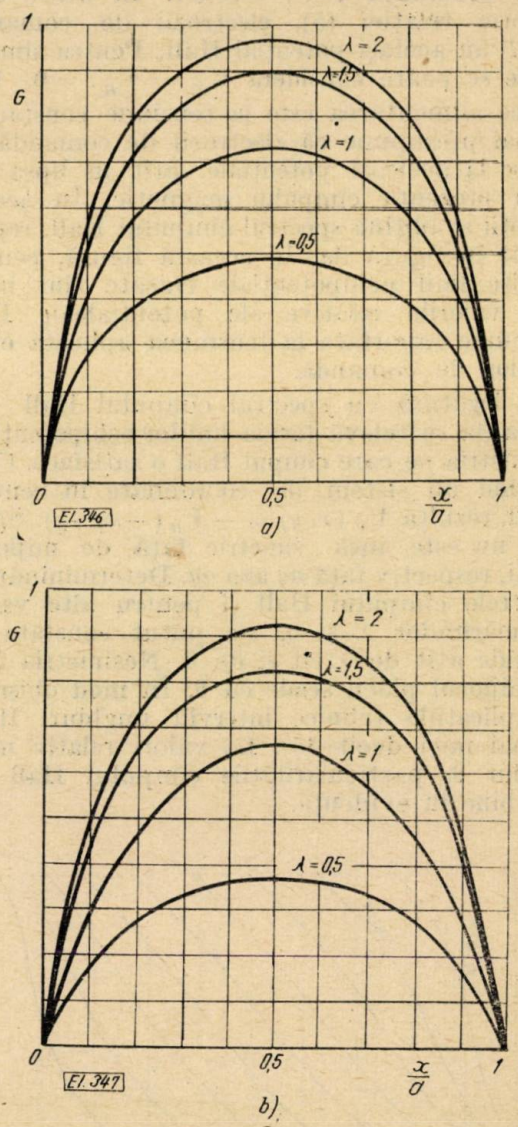


Fig. 6. Variaţia factorului de corecţie al tensiunii Hall, $G = U_H/U_{H\infty}$, de-a lungul plăcii, pentru diferite valori ale lui λ, la $\theta = 45°$.

rea din mijlocul plăcii, depind mai puţind de θ. În literatură se dau obişnuit curbele factorului de corecţie al tensiunii Hall în funcţie de λ la diferite valori constante ale lui θ, numai pentru mijlocul plăcii [5].

Dacă se cunoaşte valoarea factorului de corecţie al tensiunii Hall pentru un anumit x/a şi factorul de creştere al rezistenţei plăcii Hall considerate, atunci tensiunea Hall corespunzătoare (pentru acelaşi x/a) se exprimă analitic în funcţie de tensiunea de alimentare a plăcii prin relaţia:

$$\frac{U_H}{U_1} = G \cdot \frac{\operatorname{tg}\theta}{\lambda k_r}. \qquad (14)$$

Determinarea cîmpului Hall în condiţii pe frontieră simplificate

Determinarea pe cale analitică a cîmpului Hall presupune rezolvarea ecuaţiei lui Laplace $\nabla^2 V_H = 0$, ţinînd seamă de condiţiile pe frontieră. Pe feţele libere ale plăcii aceste condiţii sînt deosebite, deoarece pe lîngă componentele normale ale vectorului cîmp $\bar{E}_H$, intervin şi componentele lui tangenţiale. Referindu-ne la placa Hall din figura 7, condiţiile pe frontieră sînt:

$$V_H(o,y) = V_H(a,y) = 0 \qquad (15)$$

$$\left|\frac{\partial V_H}{\partial y}\right|_{\substack{x \\ y=\pm\frac{b}{2}}} = \left(E_c - \frac{\partial V_H}{\partial x}\right) \operatorname{tg}\theta. \qquad (16)$$

Alimentarea plăcii Hall se consideră la tensiune constantă, fapt exprimat de relaţia (15).

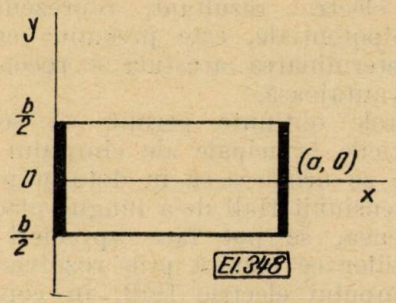


Fig. 7. Figură explicativă pentru calculul cîmpului Hall.

Deoarece rezolvarea ecuaţiei lui Laplace în condiţiile pe frontieră exprimate de relaţiile (15) şi (16) este dificilă, în literatură problema a fost rezolvată considerînd condiţie pe frontieră simplificate. Astfel, în locul condiţiei (16) referitoare la feţele libere ale plăcii se consideră [3]:

$$\left|\frac{\partial V_H}{\partial y}\right|_{\substack{x \\ y=\pm\frac{b}{2}}} = E_c \operatorname{tg}\theta = C_H J B, \qquad (17)$$

unde C_H este coeficientul Hall.

Deci se consideră numai componenta normală $\partial V_H/\partial y$ a vectorului $\bar{E}_H$, presupunîndu-se totodată că ea este constantă de-a lungul plăcii. Aplicînd metoda separării variabilelor, pentru potenţialul Hall, V_H se obţine expresia:

$$V_H(x,y) = \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{a}{(2p+1)^2} \cdot C_H J B \sum_0^\infty \cdot \frac{\operatorname{sh}\frac{\pi(2p+1)}{a} y}{\operatorname{ch}\frac{\pi(2p+1)}{a}\cdot\frac{b}{2}} \cdot \sin\frac{\pi(2p+1)}{a} x, \qquad (18)$$

în care $p = 0, 1, 2, 3, \ldots$.

Tensiunea Hall va fi:

$$U_H = (V_H)_{x;\frac{b}{2}} - (V_H)_{x;-\frac{b}{2}} = \frac{8}{\pi^2} C_H J B_a \sum_0^\infty \frac{1}{(2p+1)^2} \operatorname{th}\frac{\pi(2p+1)}{a} \cdot \frac{b}{2} \sin\frac{\pi(2p+1)}{a} x, \qquad (19)$$

iar factorul de corecţie al tensiunii Hall:

$$G = U_H/U_{H\infty} = \frac{8}{\pi^2}\lambda \sum_0^\infty \frac{1}{(2p+1)^2} \operatorname{th}\cdot \frac{\pi(2p+1)}{a}\cdot\frac{b}{2} \sin\frac{\pi(2p+1)}{a} x. \qquad (20)$$

Desigur că rezultatele obţinute prin rezolvarea ecuaţiei lui Laplace în condiţii pe frontieră simplificate conduc la anumite aproximaţii. Pentru a le releva se vor compara rezultatele obţinute pe baza acestor relaţii cu cele prezentate la punctele anterioare.

În figura 8 s-a reprezentat spectrul cîmpului Hall obţinut pe baza relaţiei (18). Pentru simplicitate, în această figură s-au indicat valorile relative ale potenţialului Hall, considerînd potenţialul Hall pe feţele libere ale plăcii şi în mijlocul ei egal cu ± 1.

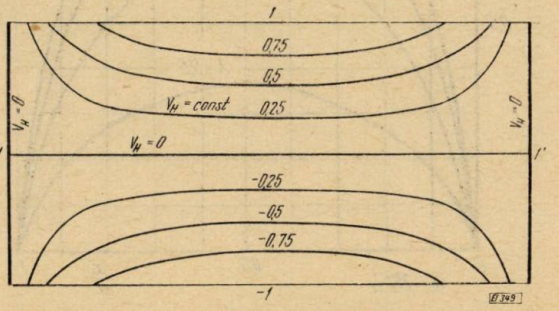


Fig. 8. Spectrul cîmpului electric Hall determinat în condiţii pe frontieră simplificate.

Spectrul cîmpului Hall din figura 3a diferă de cel reprezentat în figura 8. Se constată că în ultimul caz cîmpul Hall este simetric şi faţă de dreapta care trece prin mijlocul plăcii $x/a = 0{,}5$. Spectrul dedus pe baza relaţiei (18) depinde de λ, însă este independent de θ, din cauza condiţiilor pe frontieră simplificate care au stat la bază.

În figura 9 s-a reprezentat variaţia de-a lungul plăcii Hall a potenţialelor Hall V_{Hs} şi V_{Hi} de pe feţele libere ale plăcii şi a tensiunii Hall U_H, considerînd valorile relative ale acestora din figura 8.

Din figura 9 se constată că în acest caz şi potenţialele Hall V_{Hs} şi V_{Hi} de-a lungul feţelor libere ale plăcii Hall au o variaţie simetrică faţă de jumătatea plăcii.

În figura 10 s-au reprezentat, pe baza relației (20), curbele de variație ale factorului de corecție a tensiunii Hall, de-a lungul plăcii, pentru diferite valori ale lui λ.

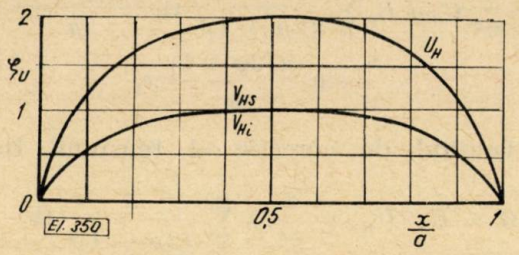


Fig. 9. Variația de-a lungul plăcii a potențialelor Hall, V_{Hs} și V_{Hi}, și a tensiunii Hall, $U_H=(V_{Hs}-V_{Hi})$, în condiții pe frontieră simplificate (valori relative).

Trebuie relevat faptul că valorile factorului de corecție deduse pe baza relației (20) nu depind de unghiul θ. Dacă se compară curbele

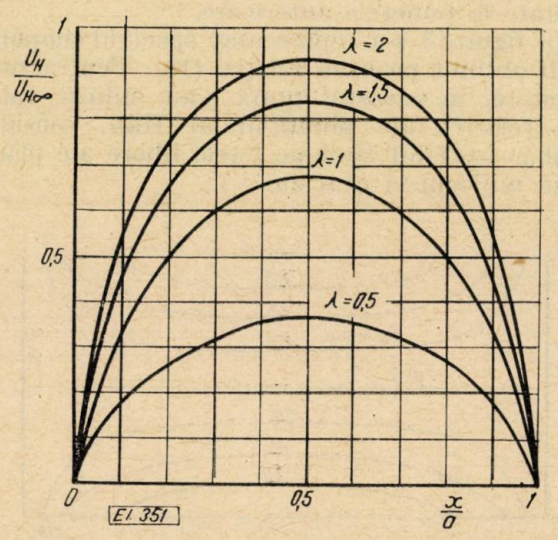


Fig. 10. Variația de-a lungul plăcii a factorului de corecție al tensiunii Hall, $G = U_H/U_{H\infty}$.

din figura 10 cu cele din figura 6*a*, *b*, se poate constata că abaterile față de valorile reale sînt mai reduse la θ mic. De aceea, rezultatele obținute considerînd condiții pe frontieră simplificate se pot aplica fără erori prea mari numai la unghiuri Hall mici.

Concluzii

Cîmpul electric Hall apare ca un cîmp suplimentar în placa străbătută de curent, în prezența cîmpului magnetic. Acest cîmp poate fi considerat o componentă a cîmpului electric rezultant din placa Hall.

Descompunerea cîmpului electric rezultant în cele două componente depinde de condițiile de alimentare ale plăcii, care se poate face la tensiune constantă sau la curent constant. Mărimile corespunzătoare cîmpului electric Hall satisfac anumite condiții. Astfel, pentru tensiunea Hall trebuie să se obțină aceeași valoarea, fie că se pleacă de la cîmpul electric rezultant fie de la cîmpul electric Hall. Se mai arată că există mai multe variante posibile pentru descompunetea cîmpului electric rezultant.

În literatura de specialitate studiul pe cale analitică al cîmpului din plăcile Hall se referă obișnuit la cîmpul electric rezultant. Lucrările care se referă distinct la cîmpul Hall sînt în general puține.

În lucrare se prezintă o metodă de determinare. a cîmpului electric Hall, bazată pe descompunerea cîmpului electric rezultant. Spectrul cîmpului electric rezultant, reprezentat prin liniile echipotențiale, este presupus cunoscut. Pentru determinarea acestuia se recomandă o metodă avantajoasă.

Rezultatele obținute permit să se releve caracteristicile principale ale cîmpului electric Hall și să se urmărească în detaliu problema variației tensiunii Hall de-a lungul plăcii Hall. De asemenea, se pot face aprecieri asupra aproximațiilor ce rezultă prin rezolvarea problemei cîmpului electric Hall, în condiții pe frontieră simplificate.

Bibliografie

[1] *De Sabata, I.* Cîmpul electric din traductoare Hall în regim cuasistaționar (Disertație). Institutul politehnic Timișoara, 1966.

[2] *Haeusler, J.* Der Widerstand und das Feld eines rechteckigen Hallplättchens. În : Z. Naturforschung, vol. **17** a, 1962, p. 506—513.

[3] *Isenberg, I., Russell, B. R.* și *Greene, R.F.* Improved method for measuring Hall coefficients. În : The Review of scientific instruments, vol. **19**, 1948, p. 685—688.

[4] *Lippmann, H. J.* și *Kuhrt, F.* Der Geometrieeinfluss auf den transversalen magnetischen Widerstandseffekt bei rechteckformigen Halbleiterplatten. În : Z. Naturforschung, vol. **13** *a*, 1958, p. 462—474.

[5] *Lippmann, H. J.* și *Kuhrt, F.* Der Geometrieeinfluss auf den Halleffekt bei rechteckigen Halbleiterplatten. În : Z. Naturforschung, vol. **13** a, 1958, p. 474—483.

[6] *Șora, C.* Untersuchung des elektrischen Feldes in einem rechteckigen Hallplättchen, mittels eines elektrokinetischen Modells. În : ETZ-A, 1969, nr. 1, p. 17—20.

[7] *Șora, C.* și *Dobre, S.* Studiul cîmpului electric din plăci Hall avînd o formă oarecare, cu ajutorul unei modelări electrocinetice. În : Electrotehnica **17**, nr. 1, 1969.

Intrat în redacție la 23 XI. 1968

RECENZII

CZ 621.313.–52

V. Del Toro. **Instalaţii electromecanice pentru conversia energiei şi comanda sistemelor** (Electromechanical devices for energy conversion and control systems). Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1968, 620 pag.

În anul 1959, cînd a apărut primul curs de Conversia electromecanică a energiei [1] al profesorilor D.C. White şi H.H. Woodson, lucrarea a provocat reacţiile cele mai diferite. Cu toată împotrivirea unor personalităţi marcante ale domeniului tratat, noua formă de prezentare a teoriei maşinilor electrice a căpătat din ce în ce mai mulţi partizani, pentru ca astăzi să fie aproape complet îmbrăţişată şi să devină un obiect de sine stătător al programelor de învăţămînt din universităţile americane. În ultimul timp în ţările anglo-saxone, în acest domeniu, au fost editate o serie întreagă de lucrări cu caracter didactic [2], [3], [4], [5] lucrări ce au înlocuit clasicele cursuri de maşini electrice. În rîndul acestora trebuie considerată şi cartea de faţă.

Autorul, profesorul Vicent del Toro, este bine cunoscut în lumea specialiştilor. Cartea sa de teoria sistemelor liniare (6), publicată în anul 1960 împreună cu S.R. Parker, poate fi astăzi considerată ca o lucrare clasică. De această dată, el va ataca un domeniu înrudit, în care experienţa căpătată din domeniul automatizărilor va fi pe deplin folosită.

Mergînd pe ideea că maşina electrică nu mai poate fi privită ca un element de sine stătător ci fie ca parte componentă a unei instalaţii automate, fie generator într-un sistem electroenergetic, autorul prezintă o lucrare închegată, sub forma unui curs universitar elastic construit, ce poate fi prezentat, sub formă prescurtată, studenţilor nespecialişti sau, în extenso, celor din facultăţile cu profil electrotehnic.

Cele 13 capitole ale cărţii sînt grupate în cinci părţi distincte.

Partea I — Introducere, pag. 2—110 (capitolele 1—2), cuprinde o trecere în revistă a mărimilor, legilor şi teoremelor electrotehnicii legate de conversia electromecanică (legea inducţiei, legea circuitului magnetic, legea fluxului magnetic, teorema lui Ampère). Sînt prezentate efectele saturaţiei şi histerezisului, iar ca aplicaţie este discutat transformatorul : teoria fizică, circuitul echivalent, încercările experimentale, problemele mărimilor relative.

Partea II-a — Conversia electromecanică a energiei, pag. 112—238 (capitolele 3—6), se ocupă de funcţionarea în regim staţionar a maşinilor clasice. În capitolul 3 se face o prezentare a elementelor de bază ale transformării electromecanice ale energiei. Cuplul electromagnetic sub formă generală este obţinut din forţa Lorentz în ipoteza înlocuirii curenţilor reali rotorici printr-o pătură superficială de curent. Forma generală este apoi particularizată pentru diverse tipuri de maşini (asincrone, curent continuu), Pentru maşina sincronă cu poli aparenţi, lucrurile par ceva mai complicate şi autorul recurge la o metodă de bilanţ energetic şi aplicare a teoremei forţelor generalizate.

Sînt apoi prezentate în detaliu fiecare din tipurile clasice de maşini : maşina asincronă trifazată — problema cîmpurilor învîrtitoare, regimurilor de transformator, circuitul echivalent, predeterminarea caracteristicilor mecanice, încercări experimentale, diagrama cercului, probleme de pornire şi reglaj ale vitezei ; maşina sincronă trifazată — generarea tensiunii electromotoare, analiza maşinii liniare şi neliniare, diagrame de fazori, determinarea experimentală a parametrilor, maşina cu poli aparenţi, teoria celor două reacţiuni, caracteristicile motoarelor sincrone, curbele în V ; maşina de curent continuu — generarea tensiunii electromotoare continue, tipurile de maşini de curent continuu, reacţia indusului, comutaţia, analiza liniară şi neliniară, caracteristicile motoarelor de curent continuu, pornirea şi controlul vitezei.

Partea a III-a — Componentele electromecanice ale sistemelor automate, pag. 330—470 (capitolele 7—11), se ocupă de aşa-numitele maşini speciale utilizate în sistemele de automatizări : servomotorul asincron bifazat, studiul lui prin metoda componentelor simetrice, circuitul echivalent, caracteristicile mecanice ; motorul asincron monofazat cu diversele sale metode de pornire, circuitul echivalent şi determinarea performanţelor ; tahogeneratorul asincron bifazat cu rotor pahar, teoria şi performanţele sale ; selsine, construcţie şi principiu de funcţionare, cuplu şi erori ; rezolvere de inducţie — utilizarea servomotoarelor bifazate ca elemente generatoare de funcţii trigonometrice.

Dacă la început studiul tuturor acestor elemente de conversie a energiei s-a făcut pentru un regim staţionar, partea a IV-a — Dinamica — le reia în discuţie prezentînd regimul lor tranzitoriu (pag. 472—532, capitolul 12).

Se prezintă studiul matematici al regimurilor nestaţionare, funcţiile de transfer pentru diverse circuite cu sau fără reacţie, înglobînd transformatoare, maşini rotative, elemente de amplificare şi reţele de compensare. Este analizată funcţionarea motorului de curent continuu cu excitaţie separată cu comandă rotorică. În mod cu totul asemănător este prezentată teoria în regim tranzitoriu a generatorului de curent continuu — comandă prin excitaţie, cu sau fără sarcină, regimul dinamic al grupului Ward-Leonard, amplidina şi servomotorul asincron bifazat.

Ultima parte a V-a (pag. 534—559) — capitolul 13, tratează un domeniu foarte nou pe care era cosmică l-a adus în actualitate — Conversia directă a energiei.

Transformarea altor forme de energii în energie electrică, transformare cu un randament ridicat, este o problemă mereu actuală în lumea specialiştilor, dar poate nicăieri nu este atît de importantă ca în domeniul călătoriilor extraterestre. Studiile efectuate în acest scop au dus la realizări interesante cu randamente teoretice ce se apropie de unitate (cazul pilelor de combustie) şi deşi preţul lor pentru ultilizări curente este uneori prohibitiv, perspectivele pentru viitor sînt larg deschise.

În lucrarea de faţă sînt prezentate : conversia energiei luminoase în energie electrică — celule fotoelectrice ; conversia termoelectrică — termocuple ; conversia electrochimică — pilele de combustie ; conversia magnetohidrodinamică (MHD).

Aşa cum am afirmat la începutul acestei recenzii, lucrarea reprezintă un curs universitar, unul dintre multele cursuri din acest domeniu ce au fost editate de universităţile americane. Pregătirea unei singure specialităţi de inginer electrotehnician (care cuprinde ramuri vaste de la tehnica curenţilor tari, automatică, pînă la electronică şi calculatoare), materiile noi ce apar în programa analitică au făcut ca numărul de ore afectat studiului maşinilor electrice să scadă neîncetat. În locul a două sau trei cursuri de specialitate (de teorie şi proiectare, maşini speciale, acţionări etc.), actualul curs de conversia electromecanică a energiei electrice, adesea predat un singur semestru, are menirea să acopere întregul domeniu. Datorită acestui fapt, maşinile sînt succint tratate, neinsistîndu-se asupra construcţiei, oferind studentului doar o privire de ansamblu asupra funcţionării lor. Alte lucrări [1], [3] ce au caracterul unor cursuri postuniversitare, cursuri pentru obţinerea titlurilor de Master sau Doctor, în acelaşi domeniu, sînt lucrări importante, lucrări ce pot fi cu succes utilizate de cercetători sau proiectanţi, lucrări legate de fenomenele reale din maşini. Cartea de faţă rămîne, aşa cum am arătat, un excelent curs universitar pentru un anumit nivel, cu fenomene clar expuse, cu un număr impresionant de probleme (aproximativ 400), foarte utilă studenţilor şi celor ce iau prima oară contact cu domeniul maşinilor electrice.

Bibliografie

[1] *White, D. C.* and *Woodson, H. H.* Electromechanical energy conversion. New York, John Wiley & Sons, Inc. 1959.

[2] *Seely, S.* Electromechanical energy conversion. New York, McGraw-Hill Book Co, 1962.

[3] *Meisel J.* Principles of electromechanical energy conversion. New York, McGraw-Hill Book Co, 1966.

[4] *Gehmlich, D. K.* and *Homond, S. B.* Electromechanical systems. New York, McGraw-Hill Book Co, 1967.

[5] *Levi, E.* and *Panzev, M.* Electromechanical power conversion. New York, McGraw-Hill Book Co, 1966.

[6] *Del Toro, V.* and *Parker, S. R.* Principles of control systems engineering. New York, McGraw-Hill Book Co, 1960.

Ing. *Răzvan Măgureanu*

CZ 621.313.1.042.1

D. F. LĂZĂROIU. **Mașini electrice cu inerție redusă**. București, Editura Academiei, 1969, 472 pag.

În lucrare, pe baza preocupărilor autorului de mai mulți ani, se prezintă într-un mod unitar probleme specifice mașinilor electrice neinerțiale și în special ale mașinilor cu înfășurări din circuite imprimate și întrefier axial .Aceste mașini se impun tot mai mult în numeroase acționări de curent continuu, care necesită constante de timp electromecanice și electromagnetice cu valori reduse, cum și în diferite domenii care reclamă un gabarit adecvat formei discoidale. Pentru a scoate în evidență avantajele și problemele specifice mașinilor electrice cu cîmp magnetic axial, în introducere se face o comparație a acestui gen de mașini cu cele clasice în diferitele etape de dezvoltare ale acestora.

În capitolul I se prezintă înfășurările imprimate, atît la mașinile de curent continuu, cît și la cele de curent alternativ, scoțîndu-se în evidență echivalența perfectă a acestora cu înfășurările mașinilor în construcție clasică. Numărul total de conductoare fiind limitat din considerente tehnologice și constructive, se demonstrează pentru înfășurările de curent continuu că dimensionarea acestora, în condițiile minimului de pierderi electrice, conduce la capete marginale ale înfășurării în formă de evolventă. Studiul geometriei capetelor marginale este atent elaborat, rezultînd relații de calcul pentru toate elementele geometrice ale înfășurării. Aceleași calcule sînt reluate pentru cazul cînd capetele marginale se trasează în formă de arce de cerc.

O dată determinate înfășurările radiale, se studiază tensiunea electromotoare indusă în înfășurările de acest tip. Tratînd cazul general, autorul admite o distribuție de cîmp spațial nearmonic, introducînd factorul de formă în regim de format și, totodată, stabilind expresia aceluiași factor în cazul cel mai general al regimului deformant și al înfășurărilor repartizate cu pas scurtat. Tot pentru cazul general s-a stabilit și expresia factorului de înclinare optimă a conductorului față de direcția radială. În continuare se dau soluții tehnice pentru realizarea practică a înfășurărilor imprimate și ștanțate.

În capitolul 2 se studiază cîmpul magnetic în întrefierul axial al mașinilor electrice. Spre deosebire de literatură unde în astfel de cazuri se face doar o descompunere în serie armonică a curbei geometrice analizate, în lucrare se pleacă de la fenomenele fizice care au loc în întrefier, în funcție de tipul înfășurării considerate. În acest mod, utilizînd metoda descompunerii în serie Fourier, se analizează pentru fiecare formă de înfășurare imprimată curba solenației specifice și se obțin expresiile pentru tensiunea magnetică, cîmpul în întrefier, factorul de bobinaj, amplitudinile armonicilor spațiale și factorul deformant în cazul următoarelor distribuții ale cîmpului în întrefier: triunghiulară, trapezoidală, dreptunghiulară, trapezoidală în trepte.

Pentru determinarea experimentală a cîmpului magnetic în întrefierul axial al mașinilor electrice la diverse nivele radiale și pentru diverse forme ale polilor inductori este prezentată o metodă originală. Cu această metodă se obțin valorile inducției magnetice în orice punct din întrefierul mașinii măsurînd cu o sondă Hall numai valorile într-un număr finit de puncte de pe frontiera domeniului considerat. Este de menționat că metoda propusă se poate aplica atît pentru determinarea cîmpurilor utile în întrefier cît și a celor de dispersie la orice fel de mașină, ceea ce îi deschide largi perspective în tehnică.

Capitolul 3 tratează calculul inductivităților în mașinile cu întrefier axial. În mod practic, în literatura de specialitate această temă nu este abordată, iar meritul autorului constă în efectuarea calculului inductanțelor în mod complet. În acest scop, pentru mașinile asincrone se definesc atît inductivitățile fazelor din sistemele de două bobine, la care poate fi redusă orice mașină cu întrefier axial, cît și inductivitățile învîrtitoare. Pe baza calculului cîmpului magnetic, dezvoltat în capitolul 2, și pornind de la geometria înfășurărilor imprimate, se prezintă calculul inductivităților mutuale ale fazelor, al inductivităților proprii ale fazelor și al inductivităților ciclice. La calculul inductivităților se aplică de asemenea și metoda seriei Fourier.

În capitolul 4 se studiază cuplurile în mașinile electrice cu întrefier axial. Plecînd de la teoria forțelor generale, autorul stabilește expresiile cuplului electromagnetic, și le aplică în mod original în cazul unei mașini de tip toroidal-axial. Prin transformarea acestor relații se ajunge la cazul mașinii de tip paralelipipedic-plană, cum și la cazul mașinii de tip cilindric-radial, ținînd seamă că sînt sisteme cu solenație superficială plană. De asemenea se determină cuplul static de sincronizare la motoarele electrice de tip pas cu pas, cu înfășurări imprimate, cum și cuplul în mașinile asincrone.

Capitolul 5 reprezintă o încercare de a prezenta o metodologie sintetică de proiectare pe baza căreia se pot calcula motoarele de curent continuu cu întrefier axial și circuite imprimate. Problema se pune în mod original, încercînd să se realizeze calculul de dimensionare pornind de la datele mașinii clasice echivalente, pe baza transformării conforme a unor domenii circulare în domenii dreptunghiulare și invers. Această introducere în problemă merită a fi dezvoltată, făcînd obiectul unor studii interesante.

Din metodica de proiectare prezentată se remarcă meritul autorului, mai ales la calculul termic și la calculul pierderilor prin curenți turbionari, unde are contribuții originale, bazate pe verificări experimentale.

O sinteză reușită, cu contribuții experimentale ale autorului, o reprezintă tratarea în capitolul 6 a caracteristicilor mașinilor electrice cu întrefier axial, scoțînd în evidență calitățile care permit utilizarea acestor tipuri de mașini în sistemele automate. Legat de aceasta se studiază și diferite tipuri de comandă.

În capitolul 7 sînt indicate o parte din numeroasele domenii de utilizare a acestor mașini, dintre care nu puține sînt aplicabile la necesitățile concrete ale economiei noastre.

Trecînd în revistă această lucrare, constatăm că autorul, plecînd de la o sinteză a lucrărilor publicate în ultimii 10 ani în literatura mondială, consultată practic în totalitate, a reușit să prezinte o teorie unitară a mașinilor electrice cu întrefier axial și circuite imprimate, atît de curent continuu, cît și asincrone; să contribuie la completarea unor lipsuri ale teoriei prin cercetări proprii și să prezinte o metodică de calcul și proiectare, pe bază de modele funcționale și prototipuri construite și încercate de autor; să descrie aplicațiile multiple ale acestui tip de mașini, în cadrul preocupărilor de introducere a acestora în industrie.

Semnalăm și încercarea autorului, în lipsa unui precedent și din necesitatea studiului, de a utiliza o terminologie adecvată la mașinile electrice studiate.

Lucrarea, prin multiplele probleme tratate, atacă un front larg și, totodată, în adîncime. Un lucru important este și acela că ridică probleme nerezolvate încă, probleme care pot forma teme pentru colective de cercetare.

Bibliografia care însoțește fiecare capitol scutește pe cercetător de o muncă suplimentară.

Prezentarea grafică, ca și relațiile de calcul, sînt corecte și îngrijite.

Ing. *Năstase Bichir*

CZ 621.316.923.1.001.24

B. V. GNEDENKO, I. K. BELEAEV și A. D. SOLOVIEV. **Metode matematice în teoria siguranței**. Traducere din limba rusă. Editura tehnică, București, 1968, 560 pag.

După cum se știe, teoria siguranței studiază metodele de evaluare și de optimizare a unor parametri specifici ce intervin în funcționarea echipamentelor industriale. Laborioasa lucrare, efectuată de un grup de autori sub conducerea lui Gnedenko, urmărește să prezinte bazele matematice ale teoriei siguranței, fără să abordeze aspectele privind problemele speciale legate de aplicarea practică a acestei teorii. Autorii au ca punct de plecare observația potrivit căreia statistica matematică prezintă cadrul natural, și în același timp și cel mai propice, pentru fundamentarea riguroasă a acestei teorii.

Precedat de o scurtă introducere, capitolul I al cărții, intitulat „Elemente de teoria probabilităților și statistică mate-

matică", abordează la început definiția noțiunii de „eveniment" și prezintă formula de bază a teoriei probabilităților. Autorii introduc noțiunile fundamentale ale teoriei probabilităților și ale statisticii matematice. Sînt demonstrate teoremele fundamentale care se folosesc în capitolele următoare.

După cum subliniază chiar autorii, capitolul II al cărții — „Caracteristicile siguranței" — se abate de la interpretarea tradițională a termenului „siguranță", efectuînd o tratare suficient de largă, capabilă să reunească diversele definiții ce se prezintă în literatura de specialitate.

Capitolele III și IV ale lucrării au un caracter statistic. Ele sînt consacrate prezentării metodelor de estimare a parametrilor siguranței pe baza rezultatelor experimentale, precum și metodelor de verificare a diferitelor tipuri de ipoteze asupra siguranței. O mare parte a acestor capitole este dedicată cazului particular al repartițiilor exponențiale, care pînă nu de mult au jucat un rol dominant în teoria siguranței.

Capitolele V și VI tratează diversele aspecte ale rezervării, ca metodă generală de creștere a siguranței produselor. Primul din capitolele menționate examinează problemele rezervării fără restabilire, iar capitolul VI — rezervarea cu restabilire.

Capitolul VII se ocupă de unele probleme ale controlului calității producției. În cazul problemei controlului curent, autorii s-au mărginit doar la formularea problemei, îndreptîndu-și îndeosebi atenția asupra problemei recepției de control. Metodele expuse pot fi utile în primul rînd lucrătorilor din rețelele de control tehnic de calitate, precum și inginerilor și tehnicienilor care se ocupă nemijlocit de problemele controlului de calitate, legate de teoria siguranței.

Textul cărții este punctat de un număr mare de grafice, dintre care multe sînt date doar în scop de ilustrații. Lucrarea este însoțită de un număr de 25 de tabele și o nomogramă, fiind indicate și sursele de unde au fost luate. O serie de tabele au fost calculate special pentru lucrarea de față. Bogata bibliografie a lucrării cuprinde o mulțime de titluri interesante, dar majoritatea celor mai recente publicații citate datează din anul 1963.

După cum este specificat și în subtitlul lucrării, autorii au abordat „caracteristicile principale ale siguranței de funcționare" și au efectuat „analiza lor statistică". Sub acest aspect, cartea crează fundalul matematic pentru lucrările ce tratează probleme concrete ale teoriei siguranței, cum ar fi cartea lui Drujinin „Siguranța în funcționare a sistemelor", apărută concomitent cu lucrarea de față în Editura tehnică.

Cartea „Metode matematice în teoria siguranței" are o ținută științifică ireproșabilă. Ea poate fi de un real folos atît matematicienilor, cît și inginerilor și tehnicienilor, care vor avea însă nevoie de mult mai multe date practice pentru aplicarea teoriei prezentate.

Andrei Silard

REFERATE

CZ 621.313 *Mașini electrice*

CZ 621.313.333.025.1 :621.3.012.8

Wallace, A. K. și Butler, O. L. **Circuitul echivalent al motoarelor asinerone monofazate cu înfășurări nedecalate la 90°, în cuadratură cu priză mediană și poli ecranați** (Equivalent circuit for nonquadrature, tapped — quadrature and shaded — pole single — phase induction motor). În : Proceedings of Institution of Electrical Engineers, nr. 12, 1968, p. 1 767—1 771,7 fig. , 10 ref. bibl.

Folosirea circuitelor echivalente pentru determinarea caracteristicilor mașinilor asincrone a căpătat o largă răspîndire. Faptul că unele mașini pot să nu fie simetrice din punct de vedere constructiv, să nu fie alimentate simetric sau că armonicile superioare de cîmp au o pondere importantă creează impresia că folosirea circuitelor echivalente este dificilă.

Utilizînd lucrările lui Kron și Chang, autorii iau în considerație toate aceste forme de nesimetrii și prezintă un circuit echivalent general ce poate fi folosit pentru orice tip de mașină asincronă monofazată.

Se determină circuitul echivalent pentru prima armonică calculîndu-se curenții și cuplul la diverse alunecări, efectul armonicelor de cîmp superioare asupra cuplului rezultant obținîndu-se prin superpoziție.

Acest procedeu elimină necesitatea construcției de circuite echivalente pentru fiecare armonică, legarea lor în serie și rezolvarea unor probleme complicate pe un calculator numeric și permite utilizarea unui calculator analogic de mică capacitate.

Rezultatele astfel obținute sînt satisfăcătoare și foarte apropiate de realitate.

R.M.

CZ 621.313.33.015.12 :621.3.012.8

Freeman, E. M. **Unde călătoare în mașinile de inducție** : impedanțe de intrare și circuitul echivalent (Travelling wawes in induction machines : input impedance and equivalent circuits). În : Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, nr. 12. 1968, p. 1 773—1 776, 6 fig., 31 ref. bibl.

Anizotropia mașinilor asincrone obișnuite îngreuiază utilizarea directă a ecuațiilor lui Maxwell în determinarea cîmpului și — implicit — a forțelor și a celorlalți parametri electrici. În ultimul timp, în literatura de specialitate, au început să apară tot mai multe articole în care se fac o serie de aproximații ce permit folosirea ecuațiilor mai sus menționate : conductoarele reale sînt înlocuite printr-o pînză de curent, formată dintr-o sumă de armonici ; existența dinților este înlocuită printr-o permitivitate magnetică diferită pe cele două direcții ; fluxul de scăpări la capetele de bobină, înclinarea crestăturilor introducîndu-se prin diverse corecții.

Neglijînd saturația, curenții Foucault și curenții de deplasare, în timp ce pînza de curent pare că se rotește cu o viteză corespunzătoare vitezei de sincronism, ecuațiile obținute sînt asemănătoare cu cele ale liniilor lungi.

Puterea vehiculată prin întrefier și deci cuplul electromagnetic se determină utilizînd integrala vectorului Poynting pentru diversele armonici, rezultatul final obținîndu-se prin superpoziție.

Pe baza acestor calcule se determină inductanțele de scăpări și de magnetizare ale mașinii și se obține circuitul echivalent.

Interesant este că utilizînd această metodă se pot calcula nu numai forțele tangențiale obișnuite ale mașinilor electrice, ci și forțele radiale de levitație, a căror rezultantă la mașinile cu simetrie cilindrică este zero, dar care pot deveni importante pentru alte forme constructive.

R.M.

CZ 621.313.33.016.1 :621.3.042.3

Binns, K. J. **Cupluri de dantură în mașinile asinerone** (Cogging torques in induction machines). În : Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, nr. 12. 1968, p.1783—1 790, 6 fig., 7 ref. bibl.

Adesea, la o proiectare incorectă se pot produce la pornire cupluri de înțepenire suficient de mari ca mașina asincronă să nu poată demara. Constructorii reduc aceste cupluri prin înclinarea crestăturilor sau prin evitarea unor combinații dezavantajoase de dinți statorici — dinți rotorici. În general, aceste combinații au fost determinate experimental, neavînd o justificare teoretică. Înclinarea crestăturilor duce la creșterea scăpărilor rotorice și mărirea pierderilor suplimentare și, în același timp, nu face decît să micșoreze efectul, neeliminînd cauza.

După ce se prezintă o critică a metodelor actuale de proiectare și determinare a acestor cupluri, autorul pornind de la

energia magnetică din întrefier prezintă o metodă originală ale cărei rezultate sînt foarte apropiate de măsurile experimentale.

Încercările experimentale au fost făcute cu rotorul în repaus, folosind o balanță de precizie cu arcuri, cuplurile de frecări statice fiind compensate.

În concluzie, utilizînd metoda propusă, printr-o alegere corespunzătoare a combinației de dinți, cuplurile de înțepenire pot fi ținute la un nivel acceptabil, fără înclinarea crestăturilor rotorice.

R.M.

CZ 621.313.33.017.2:621.3.018.33

Chalmers, B. J. și Sarkar, B. R. **Pierderile în mașinile asinerone datorită alimentării cu tensiuni nesinusoidale** (Induction-motor losses due nonsinusoidal supply waveforms). În: Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, nr. 12, 1968, p. 1 777—1 782, 2 fig., 7 ref. bibl.

În lucrare se prezintă un studiu analitic și experimental al pierderilor suplimentare ce apar în mașinile asincrone la alimentarea cu tensiune nesinusoidală. Utilizarea invertoarelor cu tiristoare a permis reglajul vitezei mașinilor asincrone în limite largi, tensiunea de alimentare aproximînd sinusoida prin diverse forme de pulsuri. Datorită acestui lucru apar armonici de valori importante în tensiunea de alimentare, armonici ce au ca cel mai important efect creșterea pierderilor suplimentare în mașină.

Încercările au fost făcute pe mașini asincrone cu rotor în scurtcircuit, cu simplă și dublă colivie, cu crestături înclinate sau nu. Pentru determinarea analitică a efectului armonicilor s-a folosit circuitul echivalent, utilizînd metoda superpoziției.

Parametrii circuitului au fost recalculați pentru fiecare armonică în parte, luîndu-se în considerare efectul pelicular. Încercările experimentale și calculele analitice sînt foarte apropiate, verificînd astfel ipotezele introduse. În general, pierderile suplimentare sînt mai mari ca în cazul alimentării sinusoidale, menținîndu-se totuși la un nivel acceptabil, neridicînd probleme în utilizarea invertoarelor în alimentarea mașinilor asincrone.

R.M.

CZ 621.313.333.012.3:621—53

Jayawant, B. V. și Bateson, K. N. **Caracteristicile dinamice ale motoarelor asinerone în sisteme automate** (Dynamic performance of induction motors in control systems). În: Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, nr. 12, 1968, p. 1 865—1 870, 14 fig. 5 ref. bibl.

Construcția invertoarelor cu tiristoare a permis funcționarea mașinilor asincrone în limite largi de viteză. Funcționarea la frecvențe variabile ridică anumite probleme de stabilitate care fac obiectul unei importante literaturi de specialitate. Această lucrarea se ocupă de comportarea dinamică a unei mașini asincrone într-un sistem automat, predeterminarea caracteristicilor făcîndu-se cu ajutorul unui calculator analogic. Utilizînd o serie de ipoteze simplificatoare se determină ecuația diferențială de funcționare a mașinii, funcție de cuplul dinamic, viteză și accelerație.

Se ajunge la concluzia că pentru un cuplu rezistent, de valoare importantă, de formă sinusoidală, de frecvență redusă pot apare funcționări instabile, fenomene de rezonanță și, în general, oscilații periculoase.

În final, cu ajutorul unei metode iterative (cu un calculator numeric) se calculează frecvența de rezonanță a unui motor asincron de 0,735 kW. Încercările experimentale au confirmat calculele teoretice rezultate obținute, fiind foarte aproape de cele predeterminate.

În încheiere, se arată că utilizarea în sisteme automate a mașinilor asincrone cer o grijă deosebită, prezentînd fenomene de instabilitate la cupluri rezistente de joasă frecvență, cuplurile electromagnetice tranzitorii ce apar fiind mai mari decît cuplul maxim în regim staționar.

R.M.

CZ 621.313.322.81

Cucera, I. **Regimurile asinerone în turboalternatoare** (Les régimes asynchrones dans les turbo-alternateurs). În: Revue Générale de l'Électricité, tom **77**, nr. 12, dec 1968, p. 1 181—1 186, 3 fig., 11 ref. bibl.

După precizarea stadiului cercetărilor în problema regimurilor asincrone în turbogeneratoare de mare putere se propune o metodă de stabilitate statică a acestor tipuri de mașini. Se propune, de asemenea, un procedeu pentru eliminarea domeniului în care generatorul poate trece din regim sincron în regim asincron. Pentru aceasta, recomandă utilizarea amortizoarelor pentru seria unitară de mașini cu caracteristici prestabilite.

Considerațiile asupra stabilității statice cuprind atît relațiile de calcul ale principalelor mărimi care sînt implicate în acest proces, cît și o serie de diagrame cu ajutorul cărora se poate studia fenomenul în detaliu. În continuare se fac incursiuni în domeniul stabilității dinamice, dîndu-se o serie de formule de calcul atît pentru unghiul de deplasare, cît și pentru puterea produsă. Se indică o serie de aspecte practice privind evitarea domeniului în care generatorul poate trece în regim asincron.

A.C.

CZ 621.314 *Transformarea energiei electrice*

CZ 621.314.632.4.001.5

Labunțov, V. A. și Smirnov, V. P. **Calculul elementelor care ușurează regimul de lucru al tiristoarelor la comutarea capacitivă** (Rasciot elementov oblegciaiușcih rabotu tiristorov pri kondensatornoi kommutații). În: Elektrotehnika, nr. 2, 1969, p. 58—60.

În prima parte a lucrării se analizează pe scurt regimul caracteristic tiristoarelor la comutarea lor capacitivă. Această metodă de comutare a tiristoarelor se folosește pe scară largă în invertoarele autonome, redresoarele cu comutare artificială, contactoarele statice de curent continuu etc. Condițiile de lucru ale tiristoarelor în aceste circuite diferă de cele ce caracterizează regimul lor de lucru în redresoarele obișnuite sau în invertoarele neautonome la frecvența de 50 Hz. Reperele principale ale comportamentului specific al tiristoarelor la comutarea capacitivă, menționate în articol, sînt următoarele: timpul relativ mic de restabilire a capacității de comandă, precum și pierderile mari la comutare (amorsarea și stingerea), determinate atît de frecvența ridicată de lucru a tiristoarelor, cît și de viteza mare de creștere a curentului direct prin tiristor $\left(\frac{di}{dt}\right)$ și a curentului invers $\left(\frac{di_{inv}}{dt}\right)$. Din cauza vitezei excesive de creștere a curentului direct prin tiristor, care determină o supraîncălzire locală a cristalului de siliciu, tiristorul poate fi distrus, chiar dacă valoarea puterii totale disipate în toată masa cristalului nu depășește valoarea maxim-admisibilă.

Elementele de protecție ale tiristoarelor sînt compuse din grupuri RC în paralel pe tiristor și dintr-o inductanță saturabilă în serie cu tiristorul. Calculul acestor elemente de protecție se efectuează în lucrare pentru un regim concret de lucru al tiristoarelor în invertoarele de curent. Metoda de calcul a condensatorului din grupul RC și a valorii inductanței saturabile este originală. Această metodă este expusă de asemenea și în cartea lui Labunțov V.A. „Invertoarele autonome tiristorizate" (Avtonomiie tiristorniie invertori, 1967, Energhia, Moscova-Leningrad).

A. S.

CZ 621.315.337.4:621.314.212

Ruhlmann, R. **Sîrme emailate în transformatoare cu răcire în lichid** (Lackdrähte in flussigkeitsgekühlten Transformatoren). În: ETZ-B, nr. 26, dec 1968, p. 763—765, 1 fig., 4 tab., 1 graf.

La un transformator răcit cu lichid aflat în exploatare cu solicitări provocate de condiții grele de serviciu, este tratat

un procedeu de încercare a comportării conductoarelor emailate. Se arată că prin acest procedeu se pot alege acele conductoare (dintre varietățile existente) care oferă transformatorului un maximum de siguranță. În transformatoarele uscate se utilizează, de mai multă vreme, la bobinaje, conductoare a căror izolație este impregnată cu lac, fiind astfel protejate într-o mare măsură contra umidității. Într-o tabelă se arată temperaturile pînă la care rezistă aceste lacuri de impregnare.

Trecîndu-se la transformatoarele răcite cu lichide, se arată că în adevăr temperaturile indicate în tabelă pot fi mult mai ridicate, dar că, în schimb, intervin probleme privind descompunerea anumitor lacuri în lichide.

Un sistem dezvoltat în Suedia permite examinarea conductorului de bobinaj, a lichidului de răcire (ulei sau clofen) etc., după o „îmbătrînire" artificială.

Rezultatele acestei experiențe sînt redate într-o tabelă pentru diferitele categorii de lacuri și pentru cele două lichide principale de răcire (ulei și clofen). Autorul ajunge la concluzia că este de preferat lacul de impregnare pe bază de acetal de polivilină, cu care s-au obținut rezultate bune în transformatoarele aflate de multă vreme în funcțiune. În încheiere se arată că și la străpungerile prin tensiunile de impuls transformatoarele cu lac s-au dovedit superioare celor cu hîrtie impregnată cu ulei.

Gh.C.

CZ 621.316 *Distribuția energiei electrice. Protecția aparatelor și instalațiilor*

CZ 621.316.923.1:017.263.8.

Rauch, W. **Un nou sistem de siguranță pentru protecția conductoarelor** (Ein neues System, für Leitungsschutzsicherungen). În ETZ—B 21, nr. 4, febr 1969, p. 83—86, 2 fig., 1 tab., 5 graf.

Cu VDE 0635 a/7.68 „Prescripții pentru siguranțe de conductoare la 500 V și 200 A, inclusiv prescripțiile speciale" se creează un nou sistem în cadrul siguranțelor „D" pentru protecția conductoarelor. Despre rezultatele încercărilor cu acest nou sistem de siguranțe se relatează în acest articol arătîndu-se în ce măsură el constituie progres în domeniul fuzibilelor de protecție a liniei și, respectiv, că acest progres era necesar pentru adaptarea la tehnica modernă a instalțiilor.

Sînt preluate, în primul rînd elementele de la vechiul sistem „D", care se dovediseră a fi corespunzătoare (dispozitivul care determină la ce curent poate fi utilizată siguranța etc.). Sînt indicate apoi treptele intensităților de curent, pentru care sînt construite siguranțele la 380 V, urmînd apoi amănunte constructive care caracterizează noile siguranțe și apoi observații asupra caracteristicii de lucru a acestora, asupra inerției la funcționare. Urmează o diagramă a selectivității și apoi cîteva considerente privind racordul în serie a siguranțelor cu automatele de supracurent, care trebuie să asigure, în cazuri de scurtcircuit, declanșarea înainte de topirea siguranței.

Trecîndu-se la consumul propriu și deci la încălzirea siguranței se menționează că acestea sînt mai reduse la noile siguranțe decît la vechile siguranțe „D", demonstrîndu-se aceasta și printr-un grafic. O oscilogramă reprezintă deconectarea curentului critic la un fuzibil de 35 A. Sînt indicate apoi amănunte constructive, avînd scopul de a reduce la un minimum dimensiunile fuzibilului, descriindu-se și fenomenul în serie al întreruperii.

În încheiere se insistă asupra încărcării continue a siguranțelor și asupra încercărilor la care sînt supuse, relevîndu-se în concluzie principalele avantaje ale noului sistem: reducerea consumului propriu și a încălzirii în timpul funcționării.

Gh. C.

CZ 621.317 *Tehnica măsurilor electrice*

CZ 621.317.313

Fedorcenko, V. P. **Măsurarea curenților de înaltă frecvență în regimuri tranzitorii** (Izmerenie tokov povîșennoi ciastoti v perehodnîh rejimah). În: Elektrotehnika, nr. 2, 1969, p. 32—34.

Proiectarea contactoarelor automate cu curenți nominali de 3—400 A la frecvența de 400 Hz, avînd o capacitate de comutare a curentului maxim pînă la 120 000 A, a scos la iveală necesitatea măsurării valorilor menționate ale curenților la probele de comutare în instalațiile respective. Autorul analizează trei feluri de instalații de măsură: un șunt pentru măsurări, precum și un transformator de curent fără miez, cu sau fără condensator de integrare în circuitul secundar. Pe baza circuitelor de măsură ale instalațiilor de măsură au fost alcătuite ecuațiile diferențiale ale proceselor tranzitorii, a căror rezolvare ulterioară a dezvăluit aspectele principale ale regimului de lucru. Pe baza analizei teoretice astfel efectuate, precum și din investigațiile experimentale, au rezultat recomandările pentru mărirea preciziei de măsurare a curentului cu ajutorul șunturilor și al transformatoarelor de curent. Din studiul rezultatelor obținute a reieșit că eroarea minimă la măsurarea curentului de înaltă frecvență în regimuri tranzitorii apropiate de cele reale se obțin în cazul cînd lipsește defazarea dintre curentul de măsură și cel supus măsurărilor.

A.S.

CZ 621.317.083.6:621.317.372

Mangiavacchi, C. **O metodă de măsurare numerică a factorului de putere** (Un metodo per la misura numerica di precisione del fattore di potenza). În: L'Elettrotecnica, nr. 12, dec 1968, p. 853—857, 9 fig., 2 ref. bibl.

Se expune o metodă precisă pentru măsurarea cu dispozitive numerice a valorii factorului de putere.

Se descrie circuitul de măsură și se reproduce schema de principiu a noii instalații de măsurare pe cale numerică a factorului de putere.

Se arată care este gama de valori pe care o poate măsura aparatul și se precizează că eroarea este practic egală cu zero la valori ale factorului de putere mai mari decît 0,5.

Se dau relațiile matematice, se expune fenomenul fizic, se arată cum se realizează și cum se folosește un asemenea aparat.

În încheiere se dau diagramele de variație a factorului de putere pentru diverse situații, indicîndu-se eroarea obținută în comparație cu procedeele clasice.

A.C.

CZ 621.319 *Condensatoare*

CZ 621.319.45

Karlheinz Thiesbürger. **Extinderea domeniului temperaturii de exploatare la condensatoarele electrolitice** (Die Erweiterung des Betriebstemperatur-Bereiches bei Elektrolyt-Kondensatoren). În: ETZ-B, nr. 3, febr 1969, p. 59—62, 1 schemă, 2 graf., 1 tab.

Referitor la condensatorul electric cu înfășurare clasică, electrozi de aluminiu și electrolit lichid sînt discutate posibilitățile de extindere a limitelor de temperatură de la −25... +70°C la −55...+85°C sau chiar pînă la +125°C. Rolul primordial îl joacă dependența de temperatură a viscozității soluției utilizate pentru electrolit. Apoi trebuie avut în vedere ca, la temperaturi înalte, presiunea aburului și producerea gazelor catodice să nu provoace presiuni prea ridicate în condensator.

Vechiile condensatoare de hîrtie sau folii sintetice sînt înlocuite treptat cu condensatoare electrolitice care prezintă trei avantaje: dimensiuni reduse, capacități ridicate și impedanțe scăzute. Sînt indicate exemple, unde se cere conden-

satoarelor să reziste la temperaturi ridicate şi joase. În primul rînd se corodează foliile anodice de aluminiu pentru a li se mări suprafaţa (de 50 de ori!). Dielectricul este format chiar de stratul de oxid de pe această suprafaţă şi posedă un factor dielectric de 7—8.

Între foliile anodice şi cele catodice este introdusă o hîrtie specială sugativă, care în primul rînd împiedică producerea unui scurtcircuit între folii şi serveşte în acelaşi timp pentru reţinerea electrolitului.

Urmează tratarea în amănunt a funcţionării condensatoarelor electrolitice, insistîndu-se în special asupra dependenţei de temperatură a rezistenţe electrolitului, arătîndu-se într-un grafic şi într-o tabelă relaţiile dintre solvenţii electrolitului şi temperatură şi conchizînd că pentru lărgirea domeniului de temperatură este necesar un electrolit al cărui solvent să posede o viscozitate redusă, care după 1 000 de ore de funcţionare să nu prezinte reacţii corosive etc.

Apoi în privinţa producerii gazelor catodice este descris procedeul în sine, arătîndu-se două posibilităţi pentru evitarea acestora: produsele neutralizării şi componentele secundare nu trebuie să schimbe caracteristicile electrochimice ale electrolitului.

Gh. C.

CZ 621.319.925:621.313.322

Meinhardt, H. **Protecţia electronică a generatoarelor** (Elektronischer Generatorschutz. În: ETZ-B, nr. 25 dec 1968, p. 740—743, 5 scheme, 3 graf., 1 fotogr.

O dată cu creşterea puterilor generatoarelor şi a încărcării reţelelor interconectate în ultimii 20 de ani, au crescut şi cerinţele la dispozitivele de protecţie a uzinelor şi reţelelor. Deoarece contactele mobile ale releelor electromagnetice prezentau o anumită nesiguranţă în aceste dispozitive, s-a încercat întîi utilizarea tubului electronic, ca element fără contacte mecanice. În 1955 s-a renunţat la aceste tuburi, deoarece tehnica semiconductoarelor oferea un maximum de siguranţă în acest domeniu. Perfecţionarea releelor statice a condus la dispozitive care reprezentau o completare importantă a releelor electromagnetice.

Contactul mobil fiind elementul cel mai sensibil al unui releu electromagnetic, s-a încercat încă din 1930 înlocuirea lui cu tubul electronic. Rezultatele fiind nesatisfăcătoare iar, pe de altă parte tehnica seminconductoarelor făcînd progrese mari, s-au creat condiţiile pentru protecţia electronică. Aici elementele componente sînt mai mici, consumă energie mai puţină (în domeniul miliwaţilor). Piesele mobile, şuruburile etc. devenind dispensabile, siguranţa în funcţionare creşte vertiginos. Releele electronice sînt în special indicate în cazurile în care perioada de repaus reprezintă starea normală, de exemplu la releele de protecţie, care cîteodată nu funcţionează zeci de ani sau chiar niciodată. În schimb în cazul unui deranjament, funcţionarea lor trebuie să fie asigurată absolut. Releul electronic nu prezintă efectul îmbătrînirii, pericolul sudării conractelor, nu necesită îngrijire şi oferă posibilitatea unor variate combinaţii în construcţie.

Într-o schemă de protecţie contra creşterii neadmise a tensiunii sînt menţionate cele patru elemente principale ale unui releu electronic (elementul de intrare, elementul logic, elementul de ieşire şi dispozitivul de alimentare), indicîndu-se funcţiunea fiecăruia. Este descris apoi un releu electronic pentru două mărimi (de exemplu releul protecţiei diferenţiale). Se arată în continuare cum, în cazul releelor electronice, se pot realiza din diferitele elemente componente orice fel de dispozitive de protecţie. Autorul arată o combinaţie standardizată, cu ajutorul căreia se supraveghează aproape toate mărimile unui grup generator (tensiunea, curentul, scurtcircuite ale bobinajului din stator, pămîntare, suprasarcină, rotorul şi motorul termic de acţionare. Nerezolvată încă este problema protecţiei pachetului de tole.

Gh. C.

CZ 621.38 *Dispozitive electrice*

CZ 621.382.333.34

Lebedev, A. A. ş.a. **Procesul tranzitoriu de dezamorsare a structurii pnpn cu ajutorul curentului de comandă al bazei** (Perehodnîi protess vikliuceniia pnpn strukturî posredstvom toka upravleniia bazî). În: Radiotehnika i elektronika, vol. XIII. 1969, nr. 1, p. 115—113, 2 fig., 5 ref. bibl.

Procesele tranzitorii la stingerea (dezamorsarea tiristoarelor constituie factorul principal care limitează frecvenţa maximă de lucru a acestora. Blocarea tiristoarelor prin intermediul unui curent de comandă aplicat pe electrodul de comandă (poartă) al tiristorului este caracteristică tiristoarelor bioperaţionale sau GTO (gate turn-off sau cu stingere pe poartă). Stingerea tiristoarelor pe electrodul de comandă micşorează timpul de blocare al acestora şi permite obţinerea unui coeficient de amplificare la stingere destul de mare.

În articol se trec în revistă cele trei metode principale de stingere a tiristoarelor: prin intermediul inversării polarităţii tensiunii anodice, prin deconectarea tensiunii anodice sau întreruperea circuitului de sarcină şi în sfîrşit, metoda căreia îi este consacrat articolul.

Autorii efectuează o analiză detaliată a proceselor nestaţionare ce au loc la stingerea structurii semiconductoare cu patru straturi alternative (pnpn) prin intermediul curentului de bază (de comandă), aplicat pe terminalul stratului p_2 (poartă). Sînt obţinute expresii analitice cu ajutorul cărora se determină durata unor etape ce constituie procesul de dezamorsare al tiristorului. Sînt prezentate relaţii analitice care descriu repartizarea concentraţiilor purtătorilor excedentari în cele două baze, în diverse etape ale procesului studiat.

Investigaţiile întreprinse au arătat că prima etapă corespunde unui curent constant în circuitul de sarcină. Durata minimă a acestei etape, care se obţine la valori mari ale curentului de comandă, este egală cu 1/3 din timpul de „traversare" al bazei înguste p_2.

În decursul celei de a doua etape a procesului de dezamorsare, are loc o scădere bruscă a curentului anodic de sarcină. Constanta de timp a acestei etape coincide cu constanta de timp a frontului de amorsare al structurii pnpn.

În cadrul celei de a treia etape, are loc blocarea joncţiunii de emiter J_3, iar valoarea curentului aplicat pe electrodul de comandă (poartă) nu se mai poate menţine constantă. Paralel cu aceste fenomene, are loc un proces independent de îndepărtare a purtătorilor de sarcină excedentari în transistorul component pnp care are baza groasă n_1.

Expresiile analitice obţinute în articol permit calcularea duratei unor etape distincte ale procesului tranzitoriu de dezamorsare şi evaluarea valorilor lor minime

A.S.

SOMMAIRE

CD 621.313.32.042.13.001.4/54

Nicolaide, A. : **L'étude expérimentale du champ magnétique dans les pièces polaires massives des machines synchrones.**

Electrotehnica **17**, no. 10, oct 1969, p. 369–373

On a étudié la répartition du champ électromagnétique dans l'intérieur de l'acier du roteur massif, dans le cas de la distribution sinusoidale de l'induction magnétique au long de la circonférence du rotor d'une machine bipolaire. On a analisé ensuite l'exactitude des différentes théories connues concernant l'étude de la propagation du champ électromagnétique dans des milieux ferromagnétiques.

CD 621.313.236.3.001.415

Huţanu, C. : **Les essais expérimentaus d'une autodine.**

Electrotehnica **17**, no. 10, pct 1969, p. 373–380

On présente dans cet ouvrage les résultats experimentaux obtenus sur un modèle d'autodine, résultats qui confirment la possibilité d'obtenir une commutatrice reglable sur la partie de courant continu. On met en évidence le rôle des enroulements du stateur ainsi que l'influence de la saturation, du hystérésis et des harmoniques supérieures sur la précision de reglage, dont on peut tirer des conclusions concernant l'élaboration des projets et la construction de ces machines.

CD 621.315.614.64.017.143

Berinde Violeta et *Stănciulescu, V.* : **Contribution à la détermination des pertes diélectriques dans les papiers électroisolants.**

Electrotehnica **17**, no. 10, oct 1969, p. 381–386

On présente une méthode élaborée par l'I.C.P.E. dans le but de déterminer les pertes diélectriques dans les papiers électroisolants. La méthode proposée considère les données actuelles de la littérature de spécialité et assure — par le traîtement individuel des eprouvettes — une précision et une productivité élevées. On présente comparativement des données expérimentales obtenues pour différentes espèces de papier pour câbles de force. L'ouvrage apporte certaines contributions dans un domaine dans lequel la littérature de spécialité est relativement pauvre, cette méthode pouvant être appliqueé aussi dans d'autres domaines, par exemple dans le domaine des feuilles en matière plastique.

CD 621.316.923.3.012.5.

Barbu, I., Iancu Maria et *May Elons* : **Les performances des coupe-circuits rapides à fusibles en argent fabriqués par C.I.L.T.**

Electrotehnica **17**, no. 10, oct 1969, p. 386–392

On décrit les performances des coupe-circuits fabriqués par l'C.I.L.T. tout en spécifiant les améliorations technologiques et constructives qui ont permis l'obtention d'une série de paramètres, au niveau actuel connu sur le plan technique. Ainsi, la capacité de rupture dépasse 16 kA, le facteur de surtension est plus petit que 2,34, les échauffements et les pertes sont moindres, l'I^2t est petit etc.

La protection des installations électriques au moyen de ces coupe-circuits, choisis judicieusement est assurée, éliminant ainsi les destructions partielles ou intégrales de ces installations.

CD 611.317.42.001.57:538.682

Şora, C. **Considérations concernant le chmap électrique Hall et la variation de la tensions Hall au long des plaques quadrangulaires Hall.**

Electrotehnica 17, no. 10, oct 1969, p. 392–398

On étudie le champ électrique Hall dans les plaques rectangulaires planes et on donne une méthode de décomposition du champ électrique résultant, de manière à mettre en évidence le champ électrique Hall. On détermine le champ Hall dans des conditions de frontière simplifiées.

COMPTES RENDUS 399

REFERATS 401

CONTENTS

DC 621.313.32.042.13.001.4 54

Nicolaide, A. : **Experimental study of electromagnetic field in massive polar pieces of synchronous machines.**

Electrotehnica **17**, nr. 10, oct 1969, p. 369–373

The paper studies the repartition of the electromagnetic field within the steel mass of a massive rotor in sinusoidal distribution of magnetic induction along the rotor circumference of a bi-polar machine. The author analyzes the value of several theories referring to the study of the propagation of the electromagnetic field in ferromagnetic media.

DC 621.313.236.3.001.415

Huţanu, C. : **Experiments with an autodyne.**

Electrotehnica, **17**, nr. 10, oct 1969, p. 373–380

The paper presents the experimental results obtained with an autodyne model. The results confirm the possibility to achieve adjustable switching on the direct current side. One emphasizes the role of stator windings and the influence of saturation, hysteresis and superior harmonics on adjusting accuracy. Conclusions regarding designing and building of such machines are drawn.

DC 621.315.614.64.017.413

Berinde Violeta and *Stănculescu, V.* : **Contributions to the determination of dielectric losses in electroinsulating papers.**

Electrotehnica **17**, nr. 10, oct 1969, p. 381–386

The authors present a method elaborated by I.C.P.E.and designed to determine dielectric losses in electroinsulating papers. The devised method taking into account the data of technical literature ensures accuracy and high productivity by individual treatment of the specimens. One compares the experimental data obtained with various kinds of paper for power cables. The article presents also some contributions to a relatively little studied domain, that of plastic foils.

DC 621.316.923.3.012.5

Barbu, I. Iancu Maria and *May Elena* : **Performances of fuses with silver fusibles put out at C.I.L.T.**

Electrotehnica **17**, nr. 10, oct 1969, p. 386–392

The authors present the performances of the fuses produced by C.I.L.T., describing the technical improvements which have resulted in a series of high parameters such as : breaking capacity exceeding 16 kA, over-voltage factor less than 2·34, diminished heating and losses, small I^2t etc. Suitably selected silver fuses protect electric installations against partial or total break down.

DC 621.317.42.001.57:538.682

Şora, C. : **About Hall electric field and variations of Hall tension along Hall rectangular plates.**

Electrotehnica **17**, nr. 10, oct 1969, p. 392–398

The author studies Hall electric field in plane rectangular plates indicating a method for the decomposition of tue resulting electric field due to outline Hall electric field. The determination of Hall field is carried out under simplified boundary conditions.

REVIEWS 399

REPORTS 401

TITLURI DOCUMENTARE

CZ 621.313 MAŞINI-ELECTRICE DE CURENT CONTINUU ŞI ALTERNATIV. GENERATOARE. MOTOARE.

CZ 621.313.2.077.65.013.4

Philipps, W. **Probleme puse de comutarea prin motoarele de curent continuu cu chiulasa masivă a statorului şi alimentare prin convertizor de curent.** In : Elektrotech. Z (ETZ-A) **90** nr. 5, 28 Feb. 1969 ; p. 103—106, 4 fig., 1 table, 2 ref. bibl.

CZ 621.313.33.537.312.62

Kovács, K. P. **Posibilităţile unei maşini asincrone cu conductori din material supraconductor.** In : Elektrotech. Z(ETZ-A) **90**, nr. 7, 28 mai 1969, p. 162—164, 6 fig. 1 tabl., 4 ref. bibl.

CZ 621.313.333.018.6

Kron, A. W. şi *Lorenzen, H-W.* **Oscilaţiile autoexcitate ale maşinilor asincrone trifazate.** In : Elecktrotech. Z. (ETZ-A) **90** nr. 9, 25 apr. 1969, p. 200—205, 5 fig. 1, tabl.

CZ 621.313.333.2.016.1

Neuhans, W. şi *Weppler, R.* **Influenţa deschiderii ancoşei asupra cuplului motoarelor asincrone trifazate în colivie.** In : Elektrotech Z (ETZ-A) **90**, nr, 8, 11 apr. 1969, p. 186—191. 9 fig. 1, tabl., 10 ref. bibl.

CZ 621.313.333.2.016.1 621.314.27

Naumin, D. **Calcularea cuplului unei maşini asincrone alimentat în curent dreptunghiular.** In : Elektrotech. Z (ETZ-A) **90**, nr. 8, 11 apr. 1969, p. 179—182, 6 fig. , 5 ref. bibl.

CZ 621.313.531.6

Meyer, M. **Progrese recente în domeniul motoarelor cu viteză variabilă.** In : Siemens Z. **43**, nr. 3, 1969, p. 190—194, 4 fig., 8 ref. bibl.

CZ 621.314 TRANSFORMAREA ENERGIEI ELECTRICE. TRANSFORMATOARE. CONVERTIZOARE. REDRESOARE. COMUTATRICE.

CZ 621.314.2 :621.365.5

Smorodinov, W. şi *Conrad, H.* **Invertor nesimetric cu tiristoare pentru încălzire prin inducţie** In : Elektrie, **23**, nr. 4 apr. 1969, p. 143—145, 5 fig.

CZ 621.314.222.6

Bogdanova, O.T. ş.a. **Curenţii circulanţi în spirale paralele ale înfăşurărilor transformatorilor datoraţi componentei axiale a cîmpului de scăpări.** In : Elektricestvo, 5 mai 1969, p. 74—79, 4 fig. , 2 tabl.

CZ 621.314.224.8

Gericke, H. **Comportarea transformatoarelor liniare de curent** In : Siemens Z **43**, nr. 2 1969, p 103—106, 6 fig. 1 tabl.

CZ 621.314.26 :534.321.9

Conrad, H. şi *Finner, K.* **Invertoare cu tiristoare pentru generarea ultrasunetelor** In : Elektrie, **23**, nr. 4, apr 1969, p. 145—148, 7 fig., 1 tabl.

CZ 621.314.63.001.4 – 52

Jahn, H. şi *Wierner, A.* **Automat de încărcare pentru verificarea în serie a redresoarelor cu siliciu miniatură**
In : Siemens Z. **43** nr. 1 1969, p. 19—21, l. fig., 3 ref. bibl.

CZ 621.318.435.3

Mordkovitch. AG., Negnebitski, B.I. şi *Olshwang, V.M.* **Amplificator magnetic diferenţiator.** In : Elektricestvo 4, 1969, p 45—48, 4 fig., 5 ref. bibl.

CZ 621.318.1: 621.313.12.025

Berenson, G.F. şi *Panina, K. I.* **Alegerea optimă a materialelor magnetice pentru generatoarele magneto-electrice cu lomutaţia fluxului magnetic.** In : Elektricestvo nr. 4, 1969, p 37—41, 5 fig., 1 tabl., 2 ref. bibl.

CZ 621.318 APLICATII INDUSTRIALE ALE MAGNETISMULUI ŞI MAGNETILOR. ELECTROMAGNETI. RELEE.

CZ 621.317.421.2 :621.313.3.013.23

Frohne, H. **Posibilităţile de analiză a cîmpului din întrefierul maşinilor electrice**
In : Elektrotech. Z (ETZ-A) **90**, nr. 5, 28 febr. 1969, p. 80—84, 3 fig., 2 tabl.

CZ 621.317.333.6 :678.742 + 678.746

Mair, H. şi *Zaengl, W.* **Rigiditatea electrică a polietilenului şi a polistironilor** In : Elektrotech. Z (ETZ-A) **90**, nr. 7, 28 mai — 1969, p 147—152, 10 fig., 34 ref. bibl.

CZ 621.317.312.33 :621.3.052.332

Menshov, Cr. B. şi *Schadinski, KV.* **Măsurarea conductanţei şi curenţilor de scurgere la pămînt în reţele electrice cu nul izolat.** In Elektricestvo, 4, 1969, p. 77—80, 3 fig.

CZ 621.317 TEHNICA MASURILOR ELECTRICE. APARATE DE MASURA

CZ 621.316.995 :519.25.001.24

Jacobs, I.A. **Metodă statistică pentru calculul punerilor la pămînt complexe în structuri electrice neomogene** In : Elecktricestvo 4, 1969, p. 49—54, 6 fig., 3 tabl., 8 ref. bibl.

CZ 621.316.925.2

Sirota, I. M. şi *Bogachenko, E.A.* **Studiul experimental al circuitelor pentru măsurarea de la distanţă a curentului.** In : Elektricestvo 5, mai, 1969, p 64—69, 5 fig., 1 tabl., 6 ref. bibl.

CZ 621.316.72

Roschke, W. şi *Zipse, H. W.* **Determinarea simplificată a reglajului evasi-optimal a regulatoarelor, după metoda optimal evadratică.** In : Elektrotech. Z (ETZ-A) **90**, nr. 9, 25 apr 1969, p. 208—210, 4 fig., 1 tabl., 3 ref. bibl.

CZ 621.316.54.06.066.6

Rüder, E. **Un comutator fără contact realizat cu ajutorul circuitului de rezonanţă feromagnetică.** In : Elektrotech. Z (ETZ-A) **90**, nr. 7, 28 mar., 1969, p 158—161, 6 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.316.35.022.445 :541.136

Sharfe, K. şi *Steinweg, U.* **Conductori compacţi de aluminiu de curenţi mari pentru instalaţii electrolitice.** In : Elecktrie, nr. 4 apr 1969, p. 159—160, 3 fig., 1 tabl.

CZ 621.316.1 :021.3.072.2

Problemele reglajului tensiunii în reţelele electrice. In Elektricestvo, nr. 4. , 1969, p. 25—27.

CZ 621.316 :621.398

Rumpel, D. **Utilizarea programelor destinate la exploatarea reţelelor cu ajutorul calculatoarelor de proces.** In : Elektro tech. Z(ETZ-A) **90**, nr. 10,9 mai 1969, p 229—232. 2 fig., 1 tabl., 5 ref. bibl.

CZ 621.316 DISTRIBUIREA ENERGIEI ELECTRICE. RETELE. REDESCHIDEREA ŞI INCHIDEREA CIRCUITELOR. REGLAREA MARIMILOR ELECTRICE. PROTECTIA APARATELOR ŞI INSTALATIILOR. .

CZ 621.315.616.96.082.77

König, D. **Descărcarea parţială fără impulsuri în cavităţile izolanţilor de răşini epoxidice.** In : Elektrotehc. Z(ETZ-A) **90**, nr. 7, 28 mar 1969, p. 156—158, 6 fig., 10 ref. bibl.

CZ 621.315.614.6 :621.319.4

*Renne, T.V.*ş.a. **Hîrtie de condensatori din celuloză rafinată.** In : Electricestvo, 5 mai, 1969, p 49—53, 6 fig., 2 tabl., 9 ref. bibl.

CSZ ÁSMŰSZAKI DOKUMENTÁCIÓS INTÉZET 1983

TEHNOLOGIE MODERNĂ DE TURNĂTORIE CU CUPTOARE

LEW

DE FRECVENȚA REȚELEI

Cuptoare cu vană sau jghiaburi de turnat LEW cu frecvența rețelei se potrivesc în mod deosebit pentru topire, supraîncălzirea și menținerea la cald a fierului, oțelului, a metalelor ușoare și grele precum și a aliajelor lor.

O turbulență electrodinamică intensă asigură o perfectă omogenitate a materialului topit.

Datorită unei deserviri ușoare unei exploatări curate și a permanentei disponibilități pentru punere în funcțiune, cuptoarele de topit NF își câștigă o tot mai mare importanță în tehnologia turnătoriilor moderne.

Pierderile reduse prin ardere, consumul redus de energie și randamentul ridicat reprezintă alte caracteristici prețioase ale instalațiilor.

Prospecte vă trimitem la cerere!

Producător:
VEB Locomotivbau Elektrotechnische Werke „Hans Beimler" DDR 1422 Hennigsdorf

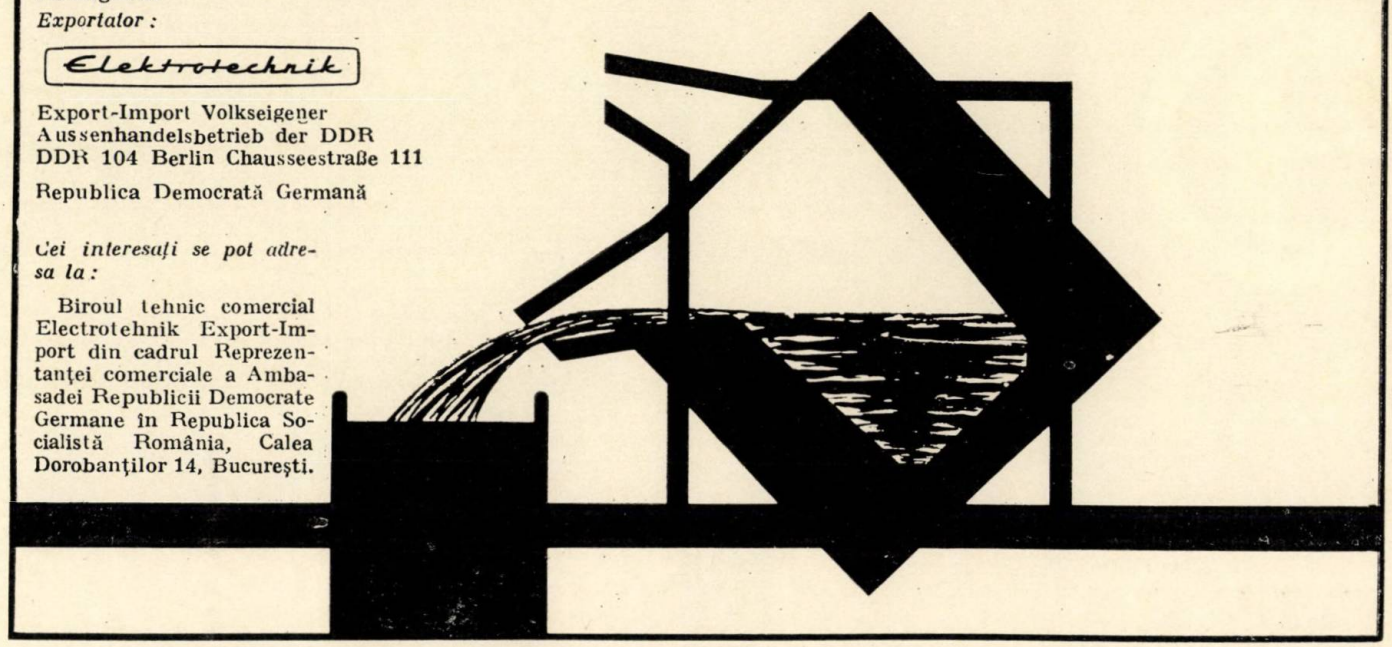
Exportator:

Elektrotechnik

Export-Import Volkseigener Aussenhandelsbetrieb der DDR
DDR 104 Berlin Chausseestraße 111
Republica Democrată Germană

Cei interesați se pot adresa la:

Biroul tehnic comercial Electrotehnik Export-Import din cadrul Reprezentanței comerciale a Ambasadei Republicii Democrate Germane în Republica Socialistă România, Calea Dorobanților 14, București.

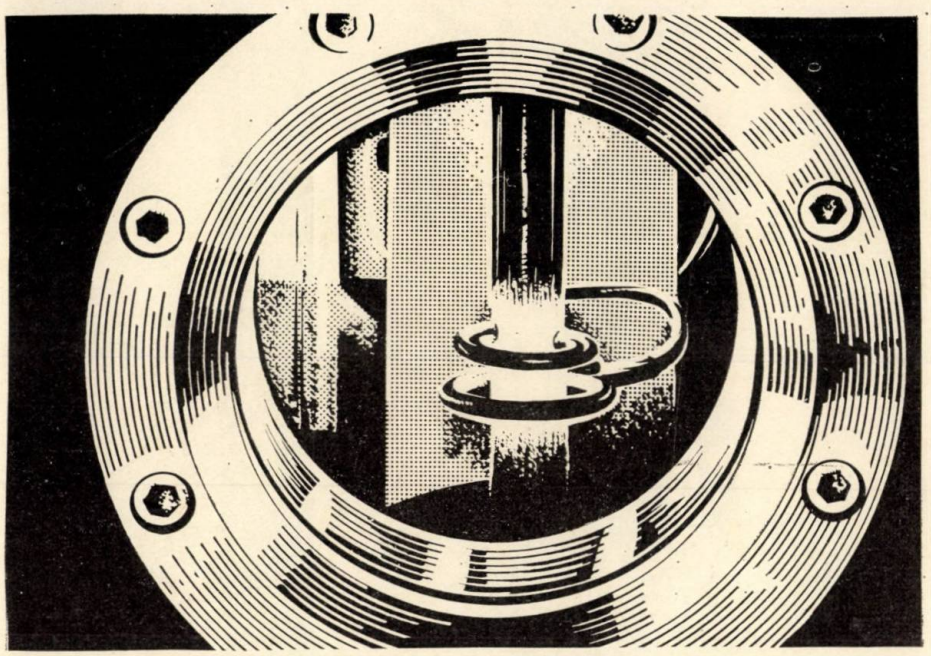


Încălzirea prin inducție

Producerea rapidă de căldură chiar în piesa de prelucrat reprezintă calea care se impune tot mai mult în industria prelucrătoare de metale.

In calitate de specialiști cu renume mondial noi am dezvoltat — pentru încălzirea la incandescență, pentru călirea la suprafață, pentru topire, aglomerare și sudură — instalații de încălzire, lucrînd rațional la frecvență medie și înaltă, care și în întreprinderea dv. pot rezolva problema tratamentului termic în fabricația de serie, într-un mod caracterizat prin acuratețe, cîștig de timp și economie.

Profitați de acest progres! Cereți-ne lămuriri!



VEM

VEM-ELEKTROMASCHINENWERKE DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK

Exportator:

Elektrotechnik

EXPORT-IMPORT

VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK-DDR 104 BERLIN CHAUSSEESTRASSE 111 112

Cei interesați se pot adresa la:

Biroul tehnic comercial Elektrotehnic Export-Import din cadrul Reprezentanței comerciale a ambasadei Republicii Democrate Germane în Republica Socialistă România, Calea Dorobanților 14, București.

balkancar

UNIUNE ECONOMICĂ DE STAT

Cel mai important exportator de maşini de manipulat din Europa, cel mai mare producător din lumea întreagă, de cărucioare elevatoare pentru înălţime de ridicare mare

OFERĂ

pentru ori ce fel de lucrări de manipulare bogata sa gamă de

— cărucioare elevatoare cu furcă, universale, electrice şi cu motor termic, utilate cu dispozitive amovibile

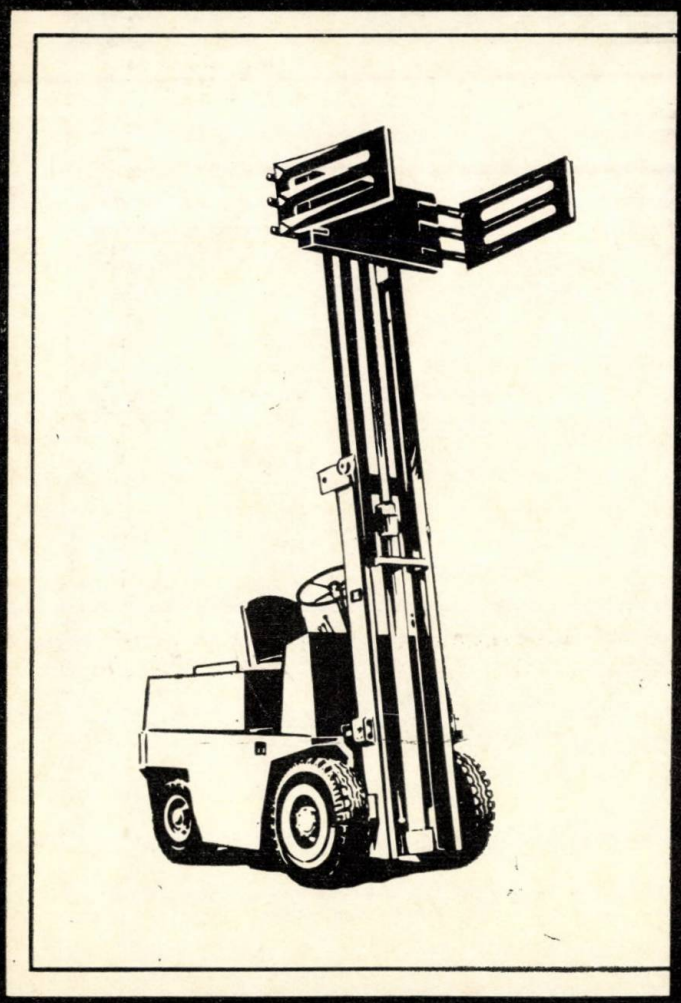
— cărucioare electrice şi cu motor termic, pentru transport, cu platformă şi benă basculantă şi cărucioare tractoare cu remorcă

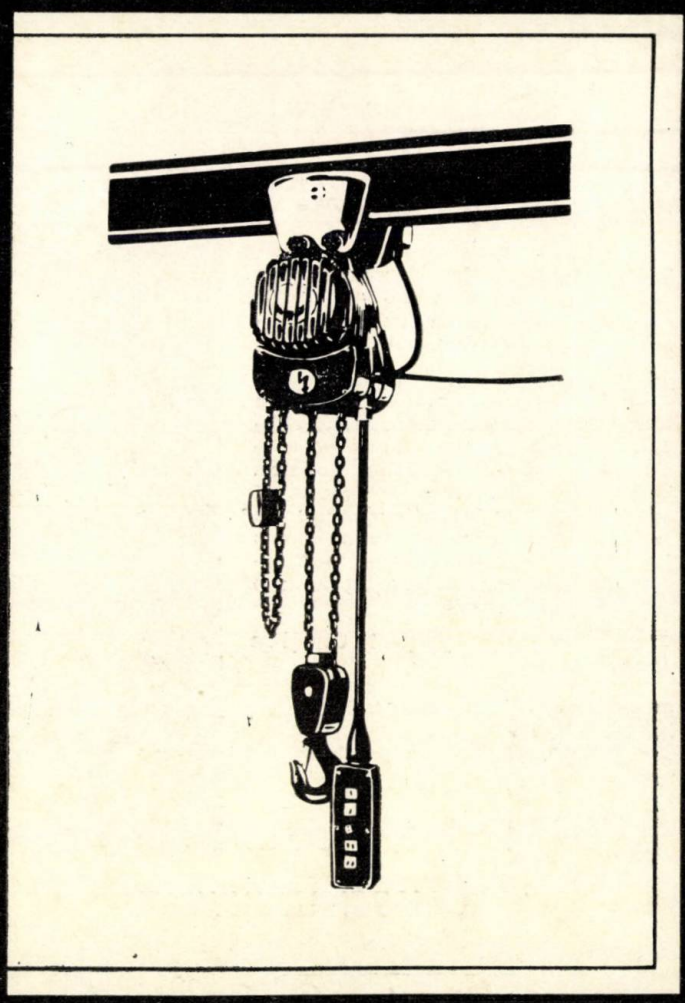
— cărucioare electrice pentru înălţime de ridicare redusă

— palane electrice cu cablu şi cu lanţ (construcţii speciale)

— baterii de acumulatoare

— echipament electric.





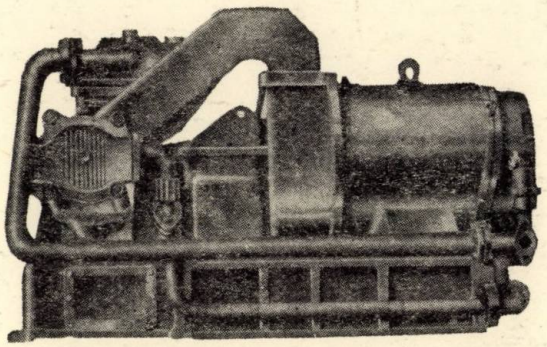
BALKANCARIMPEX Bulgaria, Sofia, Bd. Totleben 34 Telefon 52-33-46 telex 356

UZINA DE MOTOARE ȘI COMPRESOARE

Timpuri Noi

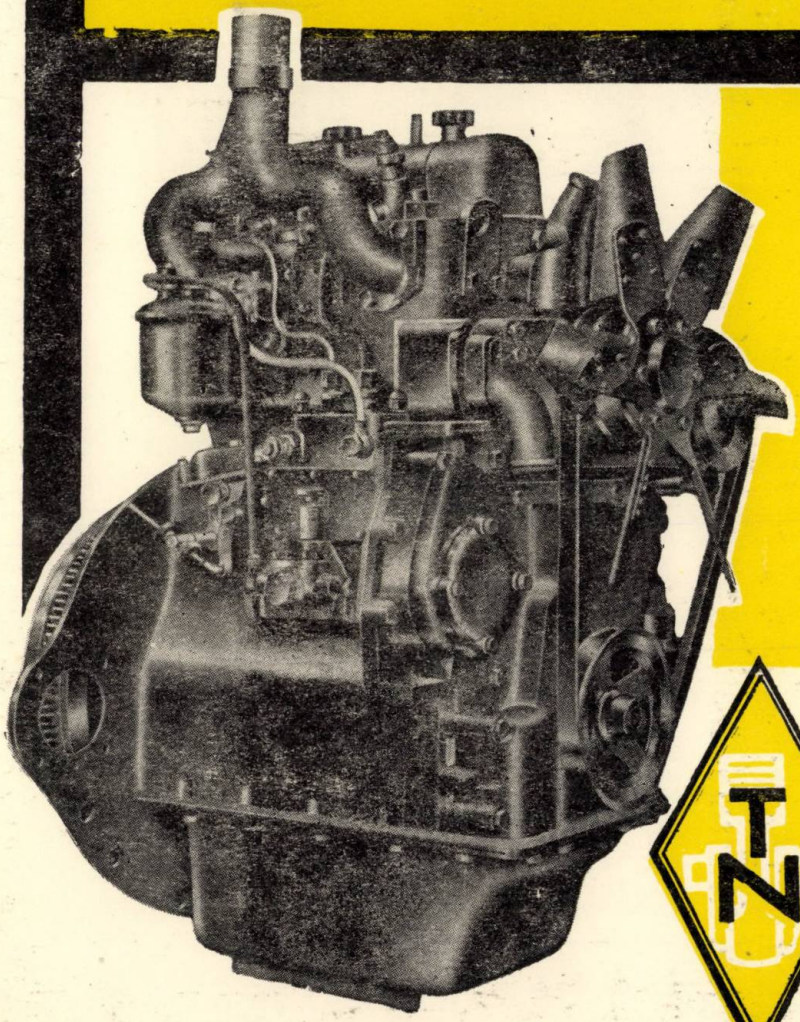
BUCUREȘTI

execută și livrează în țară și străinătate:



Compresoare de aer cu piston, cu debite pînă la 10 m³/min și presiuni de 4—14 kgf/cm² pentru:

- Locomotive
- Troleibuze
- Instalații petroliere
- Șantiere
- Excavatoare
- Garaje
- Automatizări
- Vopsitorii



Motoare diesel cu puteri pînă la 100 CP pentru:

- Utilaje de construcții
- Utilaje pentru agricultură
- Pompe de uz general și speciale
- Generatoare de c.a. și c.c.
- Motoare și motoridicătoare
- Ambarcațiuni
- Utilaje pentru silvicultură

Pentru rezolvarea problemelor dv. privind antrenarea cu motoare diesel industriale și utilizarea compresoarelor de aer cu piston — consultați specialiștii uzinei „Timpuri Noi"

INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Din Bucureşti — Bd. T. Vladimirescu 45–47 — telefon 31.41.00.

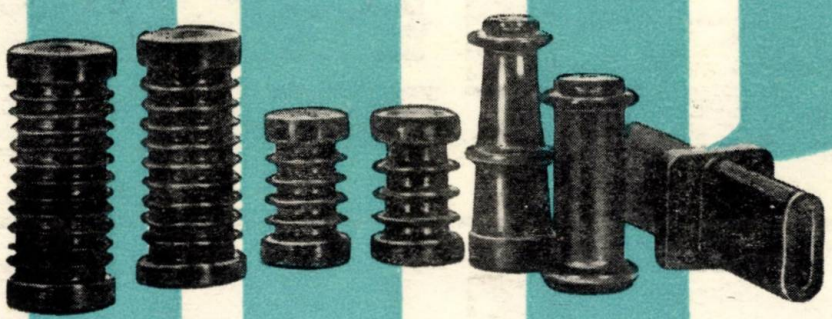
1970 APR 1

Электротехнический Научно-исследова тельский и Проектный Институт

Electrical Engineering and Research Institute
Forschungs—und Proiectierungsinstitut für die Electroindustrie.

Forschungs-und Proiectierungsinstitut für die Elektroindustrie

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Electrotechnique



Primeşte comenzi de cercetare şi proiectare, cu profil electrotehnic.

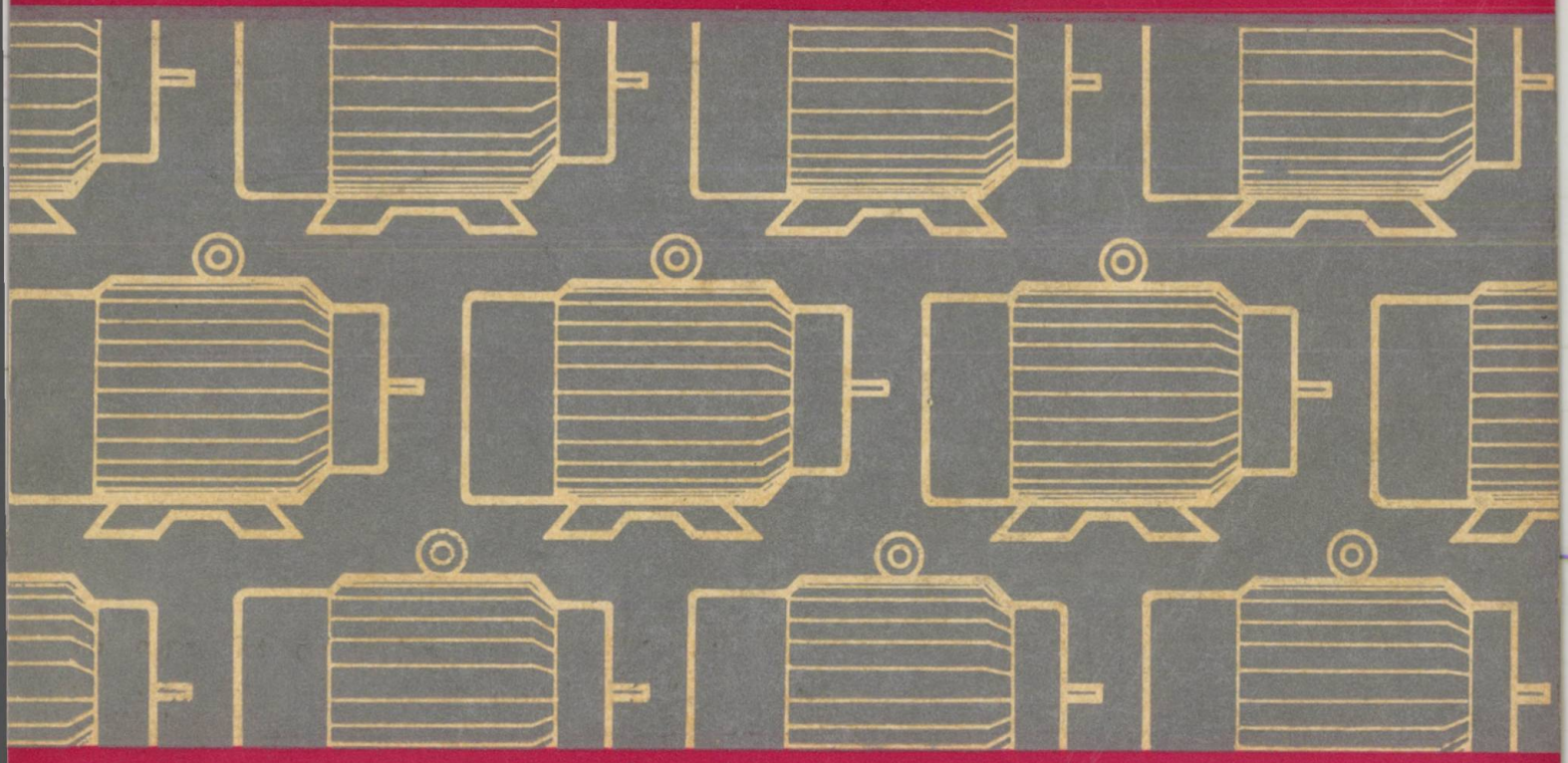
Institutul execută studii, încercări, omologări şi prototipuri din domeniul maşinilor şi transformatoarelor electrice, aparatelor de joasă şi înaltă tensiune, acţionărilor electrice, climatizării produselor industriale, calculelor cu maşini electronice, materialelor electrotehnice.

E. 2040

R

ELECTROTEHNICA

REFERALVA

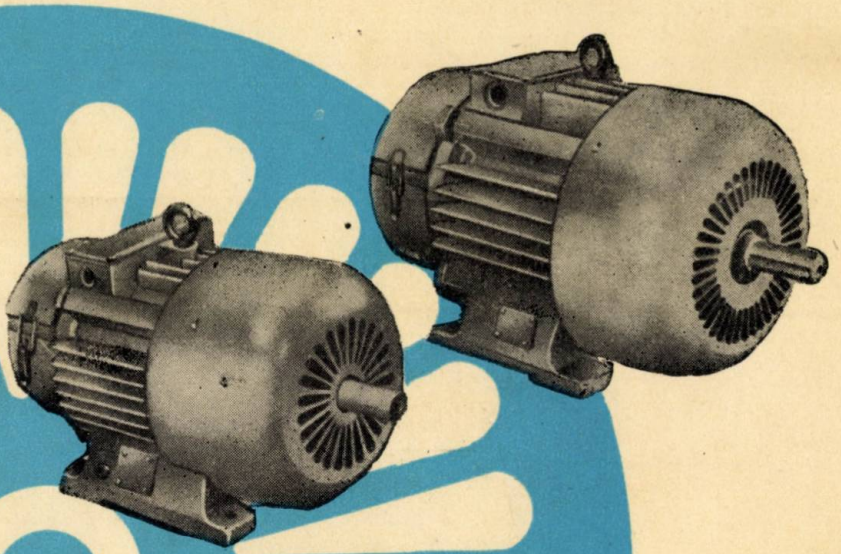


ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 17 • Nr. 11 • NOIEMBRIE 1969

11

UZINA DE MAȘINI ELECTRICE

UME BUCUREȘTI



Seria de motoare asincrone trifazate cu rotorul avînd inele de contact și regim de funcționare intermitent este destinată instalațiilor de ridicat și transportat. Gama de puteri (la regim intermitent DA = 40%) este:

3 — 60 kW — la 1000 rot/min;
5 — 45 kW — la 750 rot/min;
11 — 32 kW — la 600 rot/min.

Tensiuni de alimentare pînă la 500 V și frecvență de 50 sau 60 Hz.

MŰSZAKI KÖNYVTÁR DOKUMENTÁCIÓS OSZTÁLY 1983

ELECTROTEHNICA

Anul 17 Nr. 11, 405–440 noiembrie 1969

CUPRINS

CZ 621.313.322–501.22.001.2

Creţu, D. şi *Marini, G.*: **Caracteristicile de frecvenţă ale generatoarelor sincrone şi utilizarea lor în cercetare şi exploatare.**

Electrotehnica **17**, nr. 11, nov 1969, p. 405–412

Lucrarea cuprinde fundamentarea teoretică a metodei răspunsului tranzitoriu pentru determinarea caracteristicilor de frecvenţă ale maşinilor sincrone, expresia analitică a caracteristicilor de frecvenţă, posibilităţile experimentale de înregistrare grafică a funcţiei indiciale, măsurători şi modul de prelucrare a oscilogramelor înregistrate. Sub formă de tabele şi diagrame sînt prezentate rezultatele experimentărilor pe grupuri din sistem. Se descriu posibilităţile de utilizare în calcule de regimuri a caracteristicilor şi avantajele pe care le oferă.

CZ 621.313.322–573.042.13

Nicolaide, A. şi *Căruţaşu, I.*: **Caracteristicile de pornire ale maşinilor sincrone cu poli aparenţi masivi.**

Electrotehnica **17**, nr. 11, nov 1969, p. 413–421

Se arată că datorită unor avantaje menţionate, construcţia de maşini sincrone cu poli aparenţi masivi este relativ mult utilizată. În lucrare se indică o metodă fundamentată teoretic pentru calculul caracteristicilor de pornire în asincron a maşinilor sincrone cu poli aparenţi masivi, în care se iau în considerare anumiţi factori importanţi de care nu s-a ţinut seamă anterior. Se indică schema logică pentru o maşină numerică de calcul necesară în scopul determinării caracteristicilor de pornire. Metoda expusă este relativ simplă şi ia în considerare factorii importanţi.

Compararea rezultatelor calculului cu rezultatele experimentale confirmă exactitatea metodei.

CZ 621.317.65 :621.313.322.016.352

Oprişan, P.: **Determinarea experimentală a unghiului intern la maşinile sincrone în orice regim de funcţionare a acestora.**

Electrotehnica **17**, nr. 11, nov 1969, p. 421–423

Se prezintă un procedeu de determinare a unghiului intern din maşina sincronă care constă în traducerea decalajului rotorului faţă de cîmpul rezultant într-o tensiune continuă proporţională citită la un aparat indicator sau înregistrată. Noutatea şi avantajele reale ale procedeului prezentat constau în posibilitatea determinării precise a unghiului intern în oricare regim de funcţionare a maşinii sincrone şi în lipsa necesităţii prelucrărilor ulterioare, specifice majorităţii metodelor cunoscute actual.

CZ621.317.43 :621.313,170

Drăgănescu, Gh. O.: **Metodă pentru măsurarea pierderilor maşinilor electrice.**

Electrotehnica **17**, nr. 11, nov 1969, p. 424–429

Se propune o metodă ce permite determinarea separată a principalelor pierderi la o maşină electrică, eficace la maşinile sincrone pînă la 1 000 kW. Metoda este utilă la standul de probă al fabricilor de maşini electrice.

CZ 621.314.222/223.046. 81/82

Mâlhé, B.: **Solicitarea şi nivelul de izolaţie al transformatoarelor şi autotransformatoarelor de 400 kV.**

Electrotehnica **17**, nr. 11, nov 1969, p. 430–438

Se analizează diferitele tipuri de solicitări ale izolaţiei transformatoarelor şi autotransformatoarelor de 400 kV, luînd în considerare procedeele moderne de limitare a supratensiunilor, în vederea stabilirii unor nivele de protecţie şi de ţinere a izolaţiei, mai raţionale şi mai economice, pentru acest echipament important al noilor staţii electrice, dotate în viitorul apropiat în exclusivitate cu autotransformatoare de fabricaţie indigenă.

RECENZII • REFERATE •

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU ; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România ; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil ; ing. V. BUNEA ; ing. V. CIOFU ; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU ; ing. ȘT. GROSU ; prof. dr. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct ; conf. ing. G. LAZARIDE ; conf. ing. D. F. LĂZĂROIU ; ing. M. OPASCHI ; ing. A. POPA ; prof. ing. CRISTIANA POPESCU ; ing. VL. POPOVICI ; academician prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon redactor șef : 14.90.27. Redacția : București, str. Mărdinești, nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacție : 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon : 16.21.70 interior 173. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 40060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi : lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri : lei 30 anual. Costul unui exemplar : lei 5. Tiparul : Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 3879. *Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 10/10257/1968*

41 400

MŰSZAKI KÖNYVTÁR 1983

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.313.322 – 501.22.001.2

Крецу, Д. и *Марини, Г.*: **Частотные характеристики синхронных генераторов и ее применение при исследовании и эксплуатации.**

Electrotehnica **17**, № 11, ноябрь 1969, стр. 405–412

Работа содержит теоретическое обоснование метода переход ного ответа для определения частной характеристики синхронных машин, аналитическое выражение частотных характеристик, экспериментальные возможности графической записи показательной функции, измерения и способ переработки записанных осциллограмм. В виде таблиц и диаграмм приводятся результаты испытаний по группам системы. Описываются возможности применения в расчетах режимов частотных характеристик и их преимущества.

ДК 621.313.322 – 573.042.13

Николаиде, А. и *Кэруцашу, И.*: **Пусковая характеристика синхронных машин с массивными явновыраженными полюсами.**

Electrotehnica **17**, № 11, ноябрь 1969, стр. 413–421

Показано, что благодаря упомянутым преимуществам, конструкция синхронных машин с массивными явновыраженными полюсами применяется довольно часто. В работе рекомендуется теоретически обоснованный метод расчета характеристики асинхронного пуска синхронных машин с массивными явновыраженными полюсами. В этом методе принимаются во внимание некоторые важные факторы, которые прежде не были учтены. Приводится логическая схема для цифровой вычислительной машины, необходимая для определения пусковых характеристик. Изложенный метод довольной простой и учитывает важные факторы. Сравнение результатов вычислений с экспериментальными расчетами подтверждает правильность метода.

ДК 621.317.65 : 621.313.322.016.352

Опришан, П.: **Экспериментальное определение внутреннего угла на синхронных машинах при любом режиме работы.**

Electrotehnica **17**, № 11, ноябрь 1969, стр. 421–423

Приводится способ определения внутреннего угла на синхронной машине, который состоит в передаче угла сдвига ротора по отношению к результирующему полю в виде постоянного напряжения которое измеряется или записывается. Новость и фактические преимущества заключаются в возможности точного определения внутреннего угла при любом режиме работы синхронной машины и в отсутствии необходимости предварительных переработок, специфических для большинства методов, известных в настоящее время.

ДК 621.317.43 : 621.313.017

Дрэгнеску, Г., О.: **Метод измерения потерь электрических машин.**

Electrotehnica **17**, № 11, ноябрь 1969, стр. 424–429

Предлагается метод, позволяющий отдельн о определять главные потери на электрических машинах, применимый к синхронным машинам до 1000 квт. Метод можно использовать на испытательных стэндах заводов, выпускающих электрические машины.

ДК 621.314.222/223.046.81/82

Мате, Б.: **Нагрузка и уровень изоляции трансформаторов и автотрансформаторов в 400 квт.**

Electrotehnica **17**, № 11, ноябрь 1969, стр. 430–438

Анализируются различные типы нагрузок изоляции трансформаторов и автотрансформаторов в 400 квт, с учетом современных способов ограничения перенапряжений, в целях установления уровня защиты и применения более рациональных и экономичных изоляций, для столь важного оборудования новых электрических станций, которые в ближайшем будущем будут оснащены исключительно автотрансформаторами отечественного производства.

РЕЦЕНЗИИ • ДОКЛАДЫ

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.313.322 – 501.22.001.2

Cretu D. und *Marini, G.*: **Die Frequenzcharakteristiken der Synchrongeneratoren und ihre Verwendung in Forschung und Betrieb.**

Electrotehnica **17**, H.11, Nov 1969, S. 405–412

Die Arbeit enthält die theoretische Begründung der transitorischen Rücksendungsmethode zur Bestimmung der Frequenzcharakteristiken von Synchronmaschinen, ferner die Versuchsmöglichkeiten zur graphischen Aufnahme der Kennzifferfunktion, Messungen und Bearbeitung der aufgenommenen Oszillogramme. Als Tabellen und Diagramme werden die Versuchsresultate als Gruppen des Systems angegeben. Ferner beschreibt man die Anwendungsmöglichkeiten bei Berechnungen von Betriebsarten sowie die hiervon erhaltenen Vorteile.

DK 621.313.322 – 573.042.13

Nicolaide, A. und *Căruțașu, I.*: **Die Anlaufcharakteristiken der Synchronmaschinen mit massiven ausgeprägten Polen.**

Electrotehnica **17**, H. 11, Nov. 1969, S 413–421

Man zeigt dass auf Grund gewisser, angegebener Vorteile, der Bau synchroner Maschinen mit massiven ausgeprägten Polen ziemlich viel angewandt wird. Ferner führt man eine theoretisch begründete Methode an, zur Berechnung der Charakteristiken des asynchronen Anlaufs von Synchronmaschinen mit massiven ausgeprägten Polen, wobei gewisse wichtige, früher vernachlässigte Faktoren beachtet werden. Man gibt das logische Schema an für eine numerische Rechenmaschine, die zur Bestimmung der Anlaufcharakteristiken benötigt wird. Die aufgeführte Methode ist relativ einfach und zieht die wichtigen Faktoren in Betracht. Der Vergleich der Berechnungen mit den Versuchsergebnissen bestätigt die Genauigkeit der Methode.

DK 621.317.65 :621.313.322.016.352

Oprișan, P.: **Die experimentalle Bestimmung des Innenwinkels bei Synchronmaschinen bei beliebiger Betriebsart dieser Maschinen.**

Electrotehnica **17**, H. 11, Nov 1969, S 421–423

Angegeben wird ein Verfahren zur Bestimmung des Innenwinkels der Synchronmaschinen, bestehend aus der Verwandlung der Rotorverschiebung gegenüber dem resultierenden Feld in eine proportionale Gleichspannung, die entweder ablesbar oder auf einem entsprechenden Instrument registriert wird. Das Neune und die Wirklichen Vorteile der vorgeführten Methode bestehen in der Möglichkeit, den Innenwinkel bei jeder Betriebsart der Synchronmaschine genau zu bestimmen und in dem Wegfallen der — bei der Mehrzahl der jetzt bekannten Methoden notwendigen — nachträglichen Bearbeitung.

DK 621.317.43 : 621.313.017

Drăgănescu, Gh. O.: **Methode zur Messung der Verluste in elektrischen Maschinen.**

Electrotehnica **17** H. 11, Nov 1969, S. 424–429

Es wird eine Methode vorgeschlagen zur getrennten Bestimmung der Hauptverluste in elektrischen Maschinen und die für Synchronmaschinen bis 1 000 kW gültig ist. Die Methode ist auf dem Prüfstand der Werke für Elektromaschinen nützlich.

DK 621.314.222.223.046.81/82

Máthé, B.: **Die Beanspruchung und der Isolationswert der Transformatoren und der Spartransformatoren von 400 kV.**

Electrotehnica **17**, H. 11, Nov 1969, S. 430–438

Man bespricht verschiedene Beanspruchungsarten der Isolation bei Transformatoren und Spartransformatoren von 400 kV, wobei man die modernen Verfahren der Begrenzung von Ueberspannungen beachtet und dies mit dem Zweck, gewisse vernünftigere und wirtschaftlichere Schutz — und Haltegrenzen der Isolation festzusetzen für diese wichtige Ausrüstung der neuen elektrischen Stationen, die in naher zukunft ausschliesslich mit Spartransformatoren innländischer Herrstellung ausgerüstet sein werden.

BUCHBESPRECHUNGEN • REFERATE

SOMMAIRE

CD 621.313.322–501,22,001,2

Creţu, D. et *Marini, G.* : **Les caractéristique de fréquence des générateurs synchrones et leur utilisation dans la recherche et l'exploitation.**

Electrotehnica **17**, no. 11, nov 1969, p. 405–412

L'ouvrage comprend l'établissement de la base théorique de la méthode de la réponse transitoire pour la détermination des caractéristiques de fréquence des machines synchrones, l'expression analytique des caractéristiques de fréquence, les possibilités expérimentales de l'enrégistrement graphique de la fonction indiciale, les mesurages et le mode de relèvement des oscillogrammes enregistrés. Sous forme de tableaux et de diagrammes on présente les résultats des expériences effectuées sur les groupes du système. On décrit les possibilités d'utilisation des caractéristiques dans les calculs concernant les régimes, ainsi que les avantages qu'elles offrent.

CD 621.313.322–573.042.13

Nicolaide, A. et *Căruţaşu, I.* : **Les caractéristiques de démarrage des machines synchrones a pôles apparents massifs.**

Electrotehnica **17**, no. 11, nov 1969, p. 413–421

On montre que grâce à certains avantages spécifiés, la construction des machines à pôles apparents massifs est relativement beaucoup utilisée. Dans cet ouvrage on indique une méthode, établie théoretiquement, pour le calcul des caractéristiques de démarrage en asynchrone des machines synchrones à pôles apparents massifs, méthode qui considère certains facteurs importants dont on n'a pas tenu compte auparavant. On indique le schéma logique pour une machine numérique de calcul, neceessaire lors de la détermination des caractéristiques de démarrage. La méthode présentée est relativement simple et tient compte des facteurs importants. En comparant les résultats du calcul aux résultats experimentaux on confirme l'exactitude de la méthode.

CD 621.317.65 :. 621.313.322.016.352

Oprişan, P. : **La détermination expérimentale de l'angle interne des machines synchrones pour n'importe quel régime de fonctionnement.**

Electrotehnica **17**, no. 11, nov 1969, p. 421–423

On présente un procédé de détermination de l'angle interne de la machine synchrone, procédé qui consiste en la traduction du décalage du roteur par rapport au champ résultant à un tension continue proportionelle, que l'on peut lire sur un appareil indicateur ou qui est enregistrée. La nouveauté et les avantages réels du procédé exposé résident dans la possibilité de déterminer précisément l'angle interne, la machine synchrone fonctionnant dans n'importe quel régime, ainsi que dans le fait que les calculations ultèrieures ne sont plus nécessaires, calculations spécifiques à la majorité des méthodes actuallement comunes.

CD 621.317.43 : 621.313.017

Drăgănescu, Gh. O. : **Méthode pour le mesurage des pertes des machines électriques.**

Electrotehnica **17**, no. 11, nov 1969, p. 424–429

On propose une méthode qui permet de determiner séparément les pertes principales d'une machine électrique, méthode efficace pour les machines synchrones jnsqu'à 1 000 kW. Cette méthode est utile pour les bancs d'essais des fabriques de machines électriques.

DC 621.314.222/223. 046.81/82

Máthé, B. : **Les sollicitations et le niveau d'isolation des transformateurs et des autotransformateurs de 400 kV.**

Electrotehnica no. **17** nov 1969, p. 430–438

On analyse differents types de sollicitations de l'isolation des transformateurs et des autotransformateurs de 400 kV, en considérant les procédés madernes de limitation des surtensions, en vue d'établir certain niveaux de protection et de maintien de l'isolation, procédés plus rationels et plus économiques concernant cet équipement important des nouvelles stations électriques, qui seront dotées dans un avenir proche, exclusivement d'autotransformateurs de fabrication indigène.

CONTENTS

DC 621.313.322–501.22.001–2

Creţu, D. and *Marini, G.* : **The frequency characteristics of synchronous generators and their utilization in research and exploitation.**

Electrotehnica **17**, nr. 11, nov 1968, p. 405–412

The paper contains the theoretical substantiation of the transitory answer method for determining the frequency characteristics of the synchronous machines, the analytical expression of the frequency characteristics, the experimental possibilities of graphically recording the indicial function, measurements and way of processing the recorded oscillograms. The results of the experiments are given by system groups in tabular and diagrammatic form. The possibilities of using of these characteristics in the calculation of the operation conditions and the advantages they offer are described.

DC 621.313.322–573.042.13

Nicolaide, A. and *Căruţaşu, I.* : **The starting characteristics of synchronous machines with massive apparent poles.**

Electrotehnica **17**, nr. 11, nov 1969, p. 413–421

It is shown that due to some advantages which are mentioned in the paper, the building of synchronous machines with massive apparent poles is comparatively widely used. The description is given of a theoretically substantiated method for calculating the asynchronous starting characteristics of the synchronous machines with massive apparent poles in which some important factors which have been overlooked so far are taken into consideration. The logical scheme for a digital computer required for determining the starting characteristics is given. The method described is relatively simple and takes into consideration the important factors.

The fact that the results obtained by calculus agree with the experimental ones confirm the accuracy of the method.

DC 621.317.65 :621.313.322.016.352

Oprişan, P. : **The experimental determination of the internal angle in the synchronous machines in whatever working regime.**

Electrotehnica **17**, nr. 11, nov 1969, p. 421–423

A way of determining the internal angle in the synchronous machine is presented. It consists in transducing the rotor displacement as against the resulting field in a proportional direct voltage read on an indicator or recorded. The novelty and the actual advantages of the method described consist in the possibility of precisely dete. ining the internal angle in whatever operation conditions of the synchronous machine and in the fact that the subsequent processing specific to most presently used methods are no more necessary.

DC 621.317.43 :621.313.017

Drăgănescu, Gh. O. : **A method for measuring the losses of electric machines.**

Electrotehnica **17**, nr. 11, nov 1969, p. 424–429

A method allowing the separate determination of the main losses in electric machines, effective for synchronous machines up to 1 000 kW is suggested.

The method is useful at the test stand of electric machine factories.

DC 621.314.222/223.046.81/82

Máthé, B. : **The strain and insulation level of 400 kV transformers and autotransformers.**

Electrotehnica **17**, nr 11, nov 1969, p. 430–438

The different types of strains of the insulation of 400 kV transformers and autotransformers are analysed taking into consideration the modern overvoltage limitation techniques, in order to establish some protection and insulation keeping levels more rational and economic for this important equipment of the new electric stations which will be endowed in the near future exclusively with Romanian — made autotransformers.

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 Nr. 11 București, noiembrie 1969

Caracteristicile de frecvență ale generatoarelor sincrone și utilizarea lor în cercetare și exploatare

D. CREȚU și G. MARINI* — București

CZ 621.313.322 – 501.22.001.3

Parametrii funcționali ai mașinii sincrone se pot determina, pe cale analitică, cînd se cunosc datele privitoare la dimensionarea de detaliu și la proprietățile electromagnetice ale materialelor utilizate și, pe cale experimentală pe standul de probe sau în condiții de exploatare, dacă mașina este realizată. Certitudinea necesară o prezintă însă rezultatele obținute pe cale experimentală în condiții de stand sau laborator unde sînt îndeplinite cerințele necesare asigurării preciziei dorite. La grupurile sincrone foarte mari (de ordinul sutelor de megawați), cu importanță determinantă în sistemul energetic, valorile parametrilor funcționali se determină experimental la fiecare grup în parte deoarece chiar diferențe tehnologice aparent neînsemnate modifică aceste valori, iar metodele analitice sînt mai imprecise decît în cazul mașinilor de construcție normală.

Metodele clasice de determinare a parametrilor implică un volum important de lucru; pentru mașinile amintite de foarte mare putere, se impun amenajări suplimentare încombrante și costisitoare. Din aceste motive fabricile constructoare limitează programul de măsurători la grupul prototip, măsurători ce se efectuează parte în fabrică și parte în centrala electrică.

În ultimii ani, literatura de specialitate prezintă preocupări de asimilare, pentru acest domeniu, a procedeelor utilizate în analiza și sinteza sistemelor automate și urmăresc determinarea principalilor parametri ce definesc complet comportarea, în regimuri staționare și tranzitorii, a mașinii sincrone. Aceste procedee sînt nedistructibile, simple, ușor de realizat și, teoretic, capabile să furnizeze date mult mai complete decît cele clasice. Răspunsul tranzitoriu în curent (obținut la un salt unitar de tensiune), prelucrat adecvat, permite trasarea locului geometric al curentului absorbit de mașină din rețea în situații staționare, pentru alunecări ale rotorului variind de la zero la infinit, respectiv la minus infinit. Prin analogie cu terminologia din automatică această curbă se numește caracteristică de frecvență și corespunde în bună măsură diagramei cercului la mașina asincronă.

Scopul lucrării este să prezinte fundamentarea metodei într-o optică nouă, rezultatele obținute pe două mașini de putere din sistem și concluziile ce decurg din aceste experiențe.

1. Fundamentarea metodei

Mașina sincronă reală posedă două axe de simetrie electromagnetică — „d" și „q" — care se păstrează atît în funcționare cît și în repaus. Comportarea mașinii în regim tranzitoriu este descrisă de parametrii caracteristici ce sînt definiți separat pentru cele două axe și care, din motivul arătat, pot fi determinați prin metode statice sau staționare, realizînd procese tranzitorii.

Studiile cele mai complete ale proceselor din mașina sincronă se fac cu ajutorul ecuațiilor Park. În cazul cel mai general pe axa „d" se consideră: o înfășurare indusă, pe stator; o înfășurare inductoare, de excitație, pe rotor; „m" circuite de amortizare, în scurtcircuit, pe rotor.

Pe axa „q" se consideră: o înfășurare indusă, pe stator și „n" circuite de amortizare, în scurtcircuit, pe rotor.

* Ing. *D. Crețu* și *G. Marini* lucrează la ICENERG — București

Schema echivalentă rezultată este prezentată în figura 1. Cu ipoteza suplimentară că viteza unghiulară este constantă ($\omega = \text{const}$) ecuațiile tensiunilor și fluxurilor circuitelor cu-

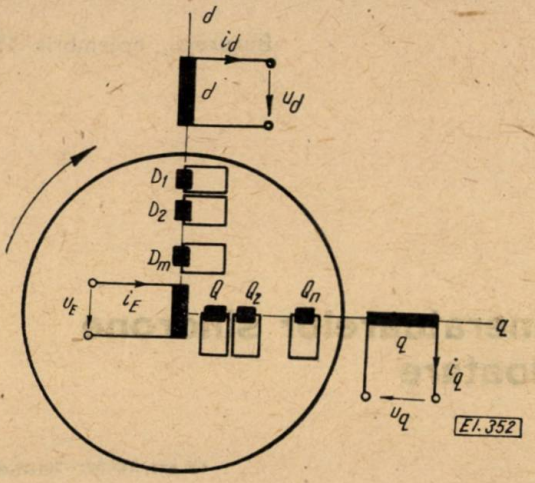


Fig. 1

plate, în forma operațională și în unități relative, pe axa longitudinală „d", sînt:

$$\begin{aligned}
&\bar{U}_E = \bar{i}_E + T_E p\,(\bar{\psi}_E - \psi_{E0})\\
&0 = \bar{i}_{D1} + T_{D1} p\,(\bar{\psi}_{D1} - \psi_{D01})\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&0 = \bar{i}_{Dm} + T_{Dm} p\,(\bar{\psi}_{Dm} - \psi_{D0m})\\
&\bar{\psi}_d = x_d \bar{i}_d + \bar{i}_E + \bar{i}_{D1} + \bar{i}_{D2} + \cdots + \bar{i}_{Dm}\\
&\bar{\psi}_E = x_d(1-\sigma_{dE})\,\bar{i}_d + \bar{i}_E + (1-\mu_{ED1})\,\bar{i}_{D1} +\\
&+ (1-\mu_{ED2})\,\bar{i}_{D2} + \cdots + (1-\mu_{EDm})\,\bar{i}_{Dm}\\
&\bar{\psi}_{D1} = x_d(1-\sigma_{dD1})\,\bar{i}_d + (1-\mu_{D1E})\,\bar{i}_E +\\
&+ \bar{i}_{D1} + (1-\mu_{D1D2})\,\bar{i}_{D2} + \cdots + (1-\mu_{D1Dm})\,\bar{i}_{Dm}\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&\bar{\psi}_{Dm} = x_d(1-\sigma_{dDm})\,\bar{i}_d + (1-\mu_{DmE})\,\bar{i}_E +\\
&+ (1-\mu_{DmD1})\,\bar{i}_{D1} + (1-\mu_{DmD2})\,\bar{i}_{D2} + \cdots + \bar{i}_{Dm},
\end{aligned} \tag{1}$$

în care s-au notat:

— barat, funcțiile imagine;

— cu indicele zero, valoarea inițială a variabilelor;

— cu „p" variabila imaginară a transformatei Carson;

— T, σ și μ — se definesc în anexă în ipoteza că inductivitățile mutuale între oricare două circuite sînt egale.

Ecuațiile tensiunilor circuitelor de excitație și de amortizare (primele $m+1$ ecuații) pot fi exprimate funcție numai de cei $m+2$ curenți (m curenți în cele m circuite de amortizare, curentul de excitație i_E și curentul indus din stator i_d) utilizînd expresiile fluxurilor din ultimele $m+1$ relații.

Sistemul de $m+2$ ecuații format din ecuațiile astfel exprimate ale tensiunilor și din ecuația fluxului statoric de pe axa longitudinală ψ_d, se poate rezolva în mai multe feluri; de obicei, iar în cazul nostru este chiar necesar, sistemul se rezolvă prin eliminarea curenților de amortizare ce nu sînt măsurați și nici controlați. Se obține astfel o relație între variabilele complexe $\bar{\psi}_d$, $\bar{U}_E$ și $\bar{i}_d$ de forma:

$$\begin{aligned}
\bar{\psi}_d - \bar{\psi}_{d0} = x_d(p)\,(\bar{i}_d - I_{d0}) + G_E(p)\,(\bar{U}_E - I_{E0}) -\\
- G_{D1}(p)\,I_{D1} \cdots - G_{Dm}(p)\,I_{D0m},
\end{aligned} \tag{2}$$

în care $x_d(p)$, $G_E(p)$, $G_{D1}(p) \cdots G_{Dm}(p)$ sînt coeficienți operaționali (adimensionali cînd scrierea ecuațiilor este în unități relative) deoarece sînt funcții de p. Ei rezultă fie ca raportul a doi determinanți din care numitorul este același pentru toți coeficienții, fie sub formă de raport a două polinoame în p. Astfel, reactanța operațională $x_d(p)$ va fi raportul

$$x_d(p) = \frac{b_0 + b_1 p^1 + \cdots + b_{m+1} p^{m+1}}{a_0 + a_\lambda p^1 + \cdots + a_{m+1} p^{m+1}}, \tag{3}$$

în care ambele polinoame sînt de gradul $m+1$; coeficienții $G_\lambda(p)$ vor fi de forma

$$G_\lambda(p) = \frac{c_{\lambda 0} + C_{\lambda 1} p^1 + \cdots c_{\lambda m} p^m}{a_0 + a_1 p^1 + \cdots a_m p^m + a_{m+1} p^{m+1}}. \tag{4}$$

Dacă în momentul anterior perturbației, regimul era staționar, termenii ce conțin curenții din înfășurările de amortizare se anulează și relația (2) devine:

$$\bar{\psi}_d - \psi_{d0} = x_d(p)\,(\bar{i}_d - I_{d0}) + G_E(p)\,(U_E - I_{E0}), \tag{2'}$$

iar pentru mașină neexcitată și condiții inițiale nule (lipsește magnetismul remanent) se poate scrie:

$$\frac{1}{x_d(p)} = \frac{\bar{i}_d}{\bar{\psi}_d} = \frac{\bar{i}_d}{\bar{U}_d}\,Y_d(p), \tag{2''}$$

deoarece, în unități relative și la pulsație constantă fluxul este identic cu tensiunea în fiecare moment. Dacă se consideră tensiunea $\bar{U}_d$ ca mărime de intrare iar curentul $\bar{i}_d$ drept mărime de ieșire atunci $Y_d(p)$ este chiar funcția de transfer a elementului considerat Făcînd pe $\bar{U}_d = 1$ (treaptă unitară) atunci rezultă că imaginea Carson a răspunsului în curent (mărimea de ieșire) este admitanța operațională a mașinii. Din teoria sistemelor automate se știe că dacă mărimea de intrare este o funcție în treaptă unitară, atunci funcția indicială se compune din funcții exponențiale; în cazul considerat:

$$i_d(t) = i_0 + i_1 e^{p_1 t} + i_2 e^{p_2 t} + \cdots i_{m+1} e^{p_{m+1} t}, \tag{6}$$

în care :

p_k sînt rădăcinile polinomului de la numărătorul relaţiei (3) — (polinomul în b);

$$i_0 = Y_d(0) = \frac{a_0}{b_0};$$

$$i_k = \frac{1}{p}(p - p_k) \cdot Y(p_k) = Q \cdot \frac{1}{p_k} \cdot \frac{(p_k - p_{z1})(p_k - p_{z2}) \cdots (p_k - p_{z(m+1)})}{(p_k - p_1)(p_k - p_2) \cdots (p_k - p_{k-1})(p_k - p_{k+1}) \cdots (p_k - p_{m+1})}.$$

Relaţia (5) scrisă operaţional va fi şi admitanţa operaţională

$$Y_d(p) = i_d = i_0 + \sum_{k-1}^{m+1} i_k \frac{p}{p - p_k}, \qquad (6)$$

scrisă de astă dată sub formă de sumă de fracţii simple.

Dînd lui p valori de la zero la infinit şi trasîndu-se în plan complex locul geometric al vîrfului vectorului admitanţei operaţionale se obţine caracteristica de frecvenţă căutată.

În mod asemănător se obţine caracteristica de frecvenţă şi pentru axa transversală, unde va lipsi însă înfăşurarea de excitaţie, iar numărul circuitelor de amortizare va fi „n"; în cazul general $n \neq m$.

2. Determinarea experimentală a caracteristicilor de frecvenţă

2.1. Funcţia indicială $i = f(t)$ se înregistrează în condiţiile dispariţiei în treaptă a tensiunii de alimentare a circuitului statoric prin scurtcircuitarea sursei de curent continuu în timp ce rotorul, alimentat sau nu, rămîne fix într-una din poziţiile corespunzătoare axei longitudinale sau transversale a maşinii. Figura 2 reprezintă schematic montajul realizat.

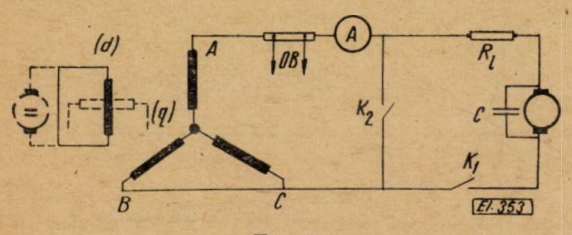


Fig. 2

Proba este simplă, nu implică aparatură deosebită sau condiţii speciale de experimentare şi poate fi realizată fără nici un risc. Rezultatele se obţin ca urmare a prelucrării ulterioare a măsurătorilor şi oscilogramelor înregistrate în timpul probelor. Această etapă presupune un volum important de muncă, dar care poate fi în parte redus prin utilizarea maşinilor electronice de calcul. Trebuie subliniat că precizia cu care se obţin, în final, valorile parametrilor funcţionali ai maşinii este determinată de îngrijirea cu care au fost prelucrate oscilogramele şi în primul rînd de calitatea înregistrării curbei curentului din stator, fapt remarcat şi în literatura de specialitate.

La scurtcircuitarea sursei de curent continuu, curentul prin noul circuit care s-a format se amortizează după o curbă care, date fiind şi motivele expuse anterior, se aproximează ca fiind o sumă de exponenţiale. Fiecare exponenţială corespunde cîte unuia din multiplele circuite existente după fiecare axă a maşinii, amortizîndu-se cu constanta de timp a circuitului respectiv. Datorită circuitelor cu constantă de timp mică, în primele momente după scurtcircuitarea sursei, curentul continuu din circuit se amortizează rapid, pentru ca apoi scăderea curentului să aibă loc mult mai lent, cu constante de timp mult mai mari.

La înregistrarea funcţiei indiciale $i = f(t)$ trebuie ţinut seamă de acest specific al procesului tranzitoriu. În literatură se recomandă, şi experienţa acumulată pînă în prezent în această direcţie confirmă necesitatea ca, în timpul oscilografierilor să fie schimbată o dată sau de mai multe ori, atît viteza de desfăşurare a filmului (hîrtiei fotografice), cît şi amplificarea înregistrării. Pentru porţiunea iniţială a curbei, panta fiind mare (fig. 3) înregistrarea se va face de asemenea cu viteze mari, desfăşurînd cît mai mult în spaţiu această parte a curbei. După un interval de timp, destul de scurt $\Delta t \approx 0{,}3$ s (funcţie de parametrii maşinii), valoarea curentului scade atît de mult faţă de valoarea sa iniţială, încît vechea etalonare nu mai asigură în bune condiţii urmărirea desfăşurării în timp a procesului de amortizare şi apare necesitatea măririi amplitudinii înregistrării fenomenului. În acest timp a avut loc amortizarea componentelor caracterizate prin constanta de timp de valori reduse, ceea ce permite şi micşorarea vitezei de înregistrare. Pînă la dispariţia completă a curentului în circuitul respectiv poate să apară încă o dată necesitatea unei schimbări a amplificării şi vitezei de înregistrare. Acest procedeu asigură în mare măsură evitarea erorilor la prelucrarea ulterioară a oscilogramelor.

Tot pentru a obţine o precizie satisfăcătoare se recomandă ca imediat după scurtcircuitarea sursei de alimentare să aibă loc şi deconectarea ei, astfel ca să nu mai intervină cu nimic în circuitul înfăşurării statorice a generatorului. Perturbaţia care apare la deconectarea sursei este neimportantă. Trebuie insistat de asemenea asupra stabilităţii în timp a calităţilor contactului care realizează scurtcircuitarea.

Înregistrarea în condiţii deosebite a diferitelor părţi ale curbei din figura 3 se realizează folosind unul sau mai multe oscilografe, dar se poate efectua şi numai cu un singur oscilograf

cu condiția ca acesta să aibă un număr suficient de spoturi, iar schimbarea vitezei să se poată realiza electric, din mers.

Succesiunea în timp a operațiilor poate fi asigurată de un comutator program. Poate fi folosită și o schemă cu mai multe relee intermediare și de timp. În figura 4 se prezintă o schemă simplă care a fost utilizată în timpul experimentărilor efectuate, schemă care asigură executarea manevrelor contactoarelor din figura 2, pornirea oscilografului de viteză mare (oscilograful cu viteză mică se pornea manual) și începerea înregistrării, protecția buclelor. Schema poate fi completată cu noi elemente în funcție de complexitatea comenzilor pe care urmează să le execute.

2.2 Metoda ține seamă de existența mai multor circuite după fiecare axă a mașinii. În expresia analitică a caracteristicii de frecvență apare în mod explicit fiecare din aceste circuite prin valorile i_k și p_k reprezentînd valoarea inițială a componentei de ordin k a curentului și respectiv, inversul constantei de timp (în unități relative) a circuitului respectiv. Pentru a ne apropia cît mai mult de situația reală trebuie identificate cît mai multe din cele m respectiv n, componente de pe fiecare axă. Tocmai în aceasta constă prelucrarea curbelor curentului înregistrat. În afara curbei curentului, pe oscilogramă trebuie să existe o linie de zero (de referință) și baza de timp.

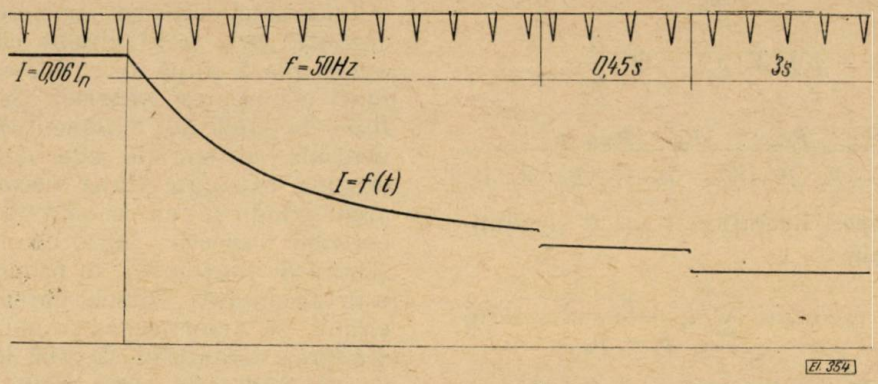


Fig. 3

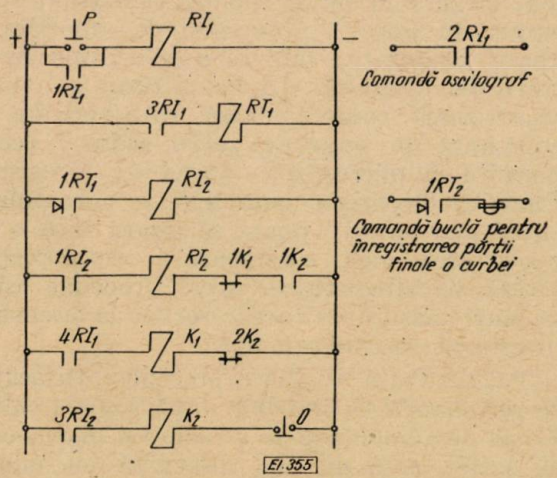


Fig. 4

Primul pas în prelucrarea oscilogramelor este alcătuirea unui tabel al valorilor i în funcție de timp, valori care se citesc pe oscilograme cu pasul $\Delta t = 0{,}02$ s pentru prima porțiune a curbei și din ce în ce mai mare spre sfîrșitul ei. Apoi, pe baza acestui tabel, se reprezintă curba $i = f(t)$ în scară semilogaritmică. Ultimele puncte ale diagramei (fig. 5) se situează pe o dreaptă. Se trasează această dreaptă și se prelungește pînă la intersecția cu ordonata. Aici se va găsi punctul corespunzător valorii inițiale i_1 a componentei de ordinul 1 a curentului. Se determină imediat constanta de timp respectivă, T_1 ea fiind timpul necesar pentru ca curentul să ajungă la 0,368 din valoarea inițială. Urmează etapa a doua a prelucrării în care se determină valoarea inițială și constanta de timp a componentei de ordinul 2. Pentru aceasta se măsoară pe oscilogramă diferența între curba $i = f(t)$ și dreapta corespunzătoare primei componente a curentului. Se reprezintă această diferență în plan semilogaritmic. Procedeul de determinare a mărimilor i_2 și T_2

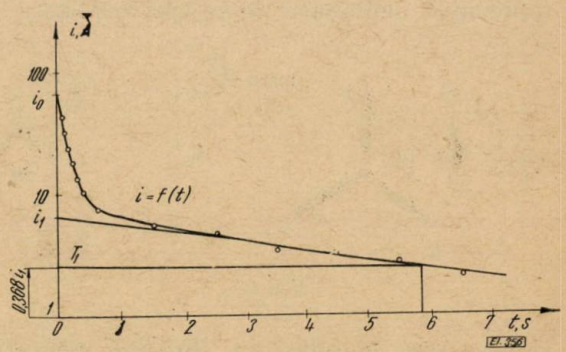


Fig. 5

este identic cu cel descris pentru i_1 și T_1. În același mod se obțin valorile i_k și T_k. Este indicat să se prelucreze cu multă atenție oscilogramele și să se identifice în curba curentului $i = f(t)$ cel puțin 4 — 5 componente.

La reprezentarea în plan semilogaritmic a curbei $i = f(t)$ se va alege o scară corespunzătoare atît pentru curent cît și pentru timp. După separarea primelor două componente ale curentului, de cele mai multe ori este nevoie să se modifice scara timpului cu scopul de a determina mai exact valorile constantelor de timp; se va face acest lucru chiar de mai multe ori pentru aceeași oscilogramă.

De fapt, cu aceasta, prelucrarea diagramelor se încheie. Urmează, însă, pregătirea datelor pentru mașina de calcul. În acest sens se vor exprima în unități relative valorile inițiale ale curenților pentru fiecare dintre componente (se va raporta la valoarea curentului continuu stabilit în circuit de către sursa de alimentare). Constantele de timp vor fi exprimate în unități de timp sincron și vor fi calculați coeficienții de amortizare respectivi (inversul constantei de timp). Curenții i_k trebuie să îndeplinească condiția:

$$\sum_k i_k = 1. \tag{7}$$

În calculul caracteristicii de frecvență intervine valoarea rezistenței circuitului format după scurtcircuitarea sursei de alimentare. Se va măsura deci rezistența unei faze a înfășurării statorice a generatorului și rezistența circuitului exterior. Se va calcula, în unități relative, valoarea rezistenței circuitului cu relația:

$$R = R_a + 2/3\, R_{ext}. \tag{8}$$

Relațiile de calcul se obțin din (6) cu valorile mărimilor i_k, T_k (p_k) și R rezultate din prelucrarea oscilogramei (răspunsul tranzitoriu ne furnizează aceleași date indiferent dacă saltul de tensiune este pozitiv sau negativ) dar cu observația că trebuie eliminat aportul rezistenței circuitului statoric. Deoarece admitanța operațională totală este:

$$Y(p) = \frac{1}{R + pL(p)} = \frac{1}{R + pX(p)} =$$

$$= \frac{1}{R}\left[1 = \sum_k \frac{i_k p}{p + p_k}\right], \tag{9}$$

rezultă:

$$X(p) = R\, \frac{\sum_k \dfrac{i_k}{p + p_k}}{1 - \sum_k \dfrac{i_k p}{p + p_k}} \tag{10}$$

și deci expresia căutată pentru calculul caracteristicii de frecvență cu substituția $p = js$, în care s ia valori discrete între zero și infinit, este:

$$\bar{i}_{s0}(js) = \frac{1}{x(js)} = \frac{1}{R}\left[\frac{1}{\sum_k \dfrac{i_k}{js + p_k}} - js\right]. \tag{11}$$

Pentru cazurile extreme se obține:

$$x(j0)_{d,q} = R \sum \frac{i_k}{p_k} = x_{d,q}, \tag{12}$$

$$x(j\infty)_{d,q} = R \frac{1}{\sum i_k p_k} = x''_{d,q}. \tag{13}$$

3. Rezultate obținute pe grupuri din sistemul energetic

În cadrul ICENERG s-a studiat numai metoda răspunsului tranzitoriu la salt unitar de tensiune (negativ) pentru calculul caracteristicilor de frecvență.

Pentru început s-au făcut măsurători la cîteva generatoare de putere mică apoi pentru două generatoare sincrone de putere medie: un turbogenerator de 20 MW (Skoda 5H 5875/2) și un hidrogenerator de 55 MW (Skoda). Dificultăți de înregistrare și diferența condițiilor de experimentare în centrală față de condițiile din laborator au făcut ca primele oscilograme să fie utilizate numai în scopul corectării tehnologiei de experimentare.

Astfel, o mare parte din deficiențele de la început au fost eliminate și rezultatele obținute pînă în prezent permit o concluzie optimistă în ceea ce privește metoda.

Oscilograma din figura 3 reprezintă curba $i = f(t)$ ridicată la turbogeneratorul de 20 MW de la TC Doicești. Valoarea inițială a curentului a fost de 0,06 In, rotorul era orientat cu axa d pe direcția fluxului rezultant al statorului iar schema corespundea celei din figura 2.

Curbe similare s-au ridicat în condiții identice pentru calculul dispersiei rezultatelor și în condiții diferite pentru stabilirea tehnologiei optime în vederea asigurării preciziei măsurătorilor. În acest sens s-a urmărit:

— influența valorii inițiale a curentului continuu din stator;

— influența valorii reziduale a curentului din stator ca urmare a rezistenței necontestate în timp a contactului K_2 de șuntare a sursei (inclusiv deconectarea sursei);

— influența stării de magnetizare a mașinii realizată prin alimentarea concomitentă a înfășurării de excitație cu curent continuu;

— influența vitezei de înregistrare și a elongației spotului în diferitele momente ale procesului de amortizare a curentului.

Calculele au arătat următoarele:

— curentul continuu iniţial din stator nu influenţează rezultatele cînd are valori cuprinse între 0,03 şi 0,10 din curentul nominal;

— valoarea reziduală a curentului din stator ca urmare a păstrării sursei în circuit şi a rezistenţei contactului K_2 de şuntare influenţează mult rezultatele privitoare la circuitele cu constante de timp mari (înfăşurarea de excitaţie); de aceea este de preferat deconectarea sursei de îndată ce s-a produs şuntarea;

— în timpul probelor curentul de excitaţie nu a depăşit valoarea lui nominală de la funcţionarea în gol astfel că starea de magnetizare s-a realizat în cea mai mare parte în zona tranzitorii, respectiv mărimilor de funcţionare sincronă rezultă:

$$x_d(j\infty) = \frac{1}{K(j\infty)} = 0{,}12 \text{ u.r.};$$

$$x_q(j\infty) = 0{,}217 \text{ u.r.};$$

$$x_d(j0) = \frac{1}{K(j0)} = 1{,}39 \text{ u.r.};$$

$$x_q(j0) = 0{,}81 \text{ u.r.},$$

faţă de

$$x_d'' = x_d(j1) = 0{,}115 \text{ u.r.}; \quad x_d = 1{,}99 \text{ u.r. şi}$$

$$x_q'' = x_q(j1) = 0{,}212 \text{ u.r.},$$

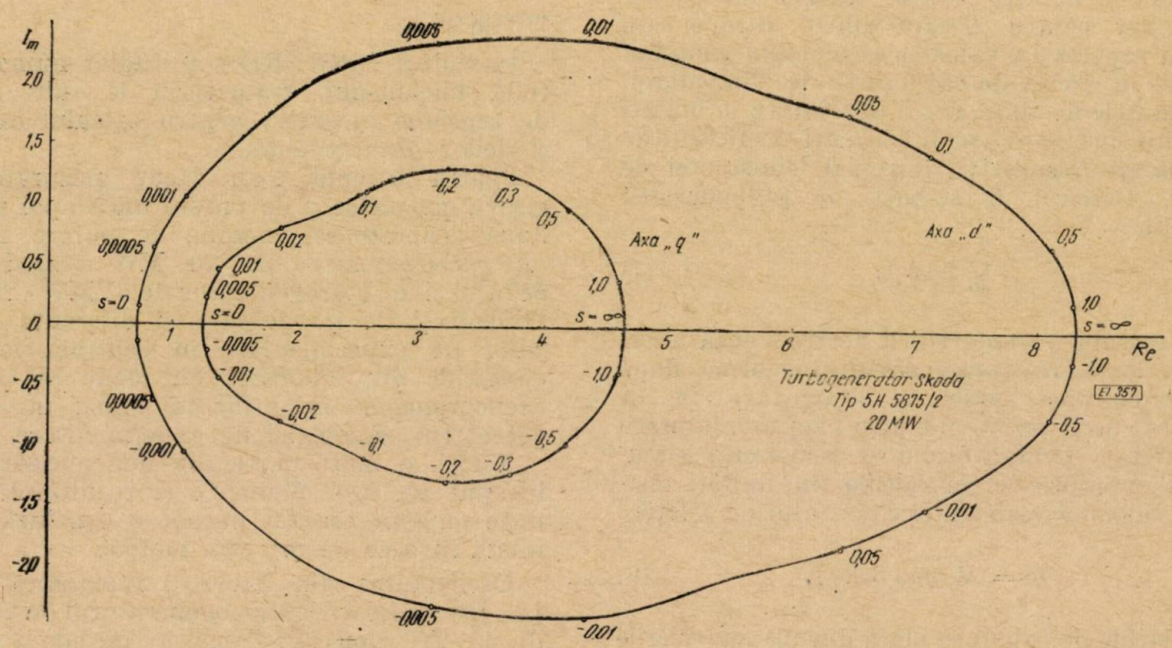


Fig. 6

liniară; din acest motiv faptul că dispersia rezultatelor a fost mică nu îndreptăţeşte să se tragă decît concluzia practică de a continua măsurătorile cu surse care să permită realizarea de stări de magnetizare mai saturate.

Observaţiile privind viteza de înregistrare şi elongaţia spotului au fost făcute în capitolul precedent. În probele efectuate pînă în prezent nu s-a putut realiza elongaţia dorită în zona finală a oscilogramei, astfel că erorile de prelucrare a acestei părţi au fost apreciabile.

Pentru ilustrarea acestor observaţii se prezintă în figura 6 caracteristicile de frecvenţă $\bar{i} = f(s)$ — pe axele longitudinale şi transversale pentru turbogeneratorul de 20 MW. Curbele rezultă simetrice faţă de coordonata reală funcţie de semnul alunecării. Din analiza punctelor particulare de pe caracteristici, $s = \infty$ şi $s = 0$, corespunzătoare mărimilor supratranzitorii, respectiv mărimilor obţinute clasic: scurtcircuit trifazat brusc, caracteristica de mers în gol şi în scurtcircuit trifazat permanent şi alimentarea cu curent alternativ a înfăşurării statorului, cînd calat, rotorul era cu axa d sau q în lungul axei cîmpului rezultat. Rezultatele sînt foarte bune în ceea ce priveşte mărimile supratranzitorii şi inacceptabile pentru mărimile sincrone; eliminarea acestui neajuns se poate face numai prin utilizarea unei bucle mult mai sensibile pentru zona finală a oscilogramei.

Din alte curbe pe care nu le mai reproducem, dar care au fost integral preclucrate s-au calculat erorile şi dispersia valorilor obţinute pentru reactanţa supratranzitorie în condiţii de premagnetizare diferite şi pentru curenţi iniţiali în stator diferiţi (tabela 1) şi au rezultat: eroarea medie simplă $\eta = 0{,}556 \cdot 10^{-2}$; eroarea

Tabela 1

I_{st}	x''_d	$x''_{d\,med}$	$\Delta x''_d$	$\Delta^2 x''_d$	I_{ex}/I_{exo}	Observaţii
%	u. r.	u. r.	u. r.	u. r.	u. r.	
4,15	0,143		$0{,}05.10^{-2}$	$0{,}0025.10^{-4}$	0,72	
4,15	0,140		$-0{,}35.10^{-2}$	$0{,}1230.10^{-4}$	1,00	
7,00	0,151		$0{,}75.10^{-2}$	$0{,}4900.10^{-4}$	1,00	
		0,1435			0,63	
7,00	0,151		$0{,}75.10^{-2}$	$0{,}4900.10^{-4}$	0,72	Schimbarea polarităţii curentului rotoric
4,41	0,140		$-0{,}35.10^{-2}$	$0{,}1230.10^{-4}$	0,72	
4,41	0,136		$-0{,}75.10^{-2}$	$0{,}4900.10^{-4}$		

medie pătratică $\sigma = 0{,}586 \cdot 10^{-2}$; dispersia (în unităţi standard) $\sigma^2 = 0{,}35 \cdot 10^{-4}$.

Valoarea relativ mică a dispersiei indică o precizie satisfăcătoare în zona alunecărilor mari. Prin adoptarea măsurilor preconizate se va putea ajunge la precizia dorită şi în zona frecvenţelor mici. În figura 7 sînt prezentate caracteristicile de frecvenţă (numai partea alunecărilor pozitive) ale hidrogeneratorului de 55 MW al cărui rotor nu a putut fi însă orientat

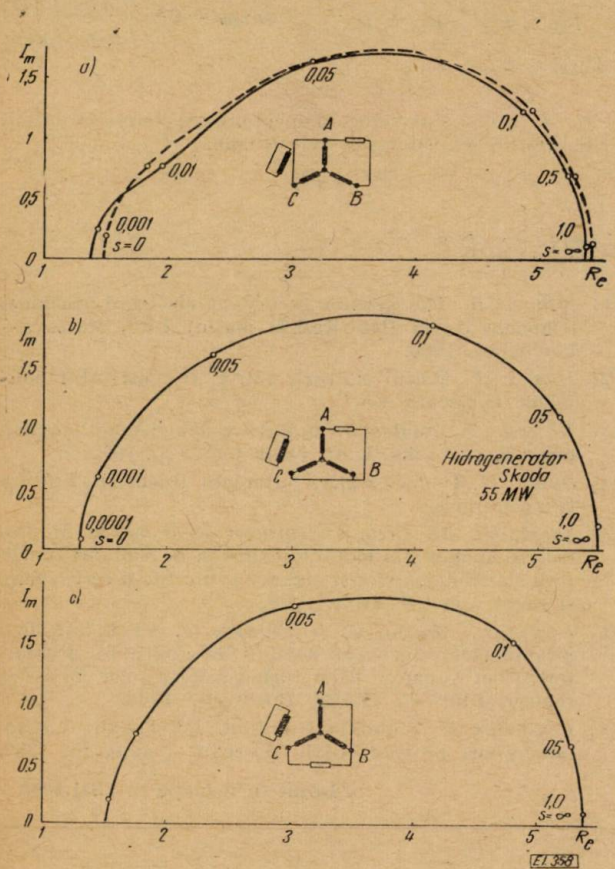


Fig. 7

după dorinţă, motiv pentru care au fost permutate fazele, aşa cum se arată în dreptul fiecărei curbe. În figura 7a, cu linie întreruptă s-a figurat, pentru comparaţie, o altă caracteristică ridicată în condiţii identice cu cea trasată continuu. Cu toate că pentru hidrogenerator rezultatele obţinute astfel se abat mai puţin de cele obţinute prin metode clasice decît în cazul turbogeneratorului de 20 MW; concluziile prezentate rămîn valabile.

4. Utilizarea caracteristicilor de frecvenţă

Caracteristicile de frecvenţă ale maşinii sincrone pot fi utilizate în exploatarea curentă, în cercetare şi într-un anumit gen de încercări profilactice.

Prin definiţie, caracteristica de frecvenţă reprezintă locul geometric al curentului absorbit din reţea, de maşina sincronă în funcţionare staţionară la alunecări cuprinse între zero şi infinit. De aceea, pentru orice regim asincron, posibil în practică la pierderea temporară a excitaţiei, se poate determina încărcarea cu sarcină activă respectiv alunecarea admisibilă, pentru care curentul total statoric mediat pentru poziţiile extreme d şi q ale axei rotorului nu depăşeşte valoarea nominală.

Punctele definite de $x_{d,q}(j0)$ şi $x_{d,q}(j\infty)$ reprezintă reactanţele sincrone respectiv reactanţele supratranzitorii ale maşinii şi cu ajutorul lor se determină curenţii supratranzitorii şi stabilizaţi de scurtcircuit trifazat şi bifazat deoarece cu valorile reactanţelor supratranzitorii se determină şi reactanţa inversă prin una din relaţiile cunoscute (media aritmetică $\frac{x''_d - x''_q}{2}$ sau media geometrică $\sqrt{x''_d\, x''_q}$).

La hidrogeneratoare şi compensatoare sincrone cu admitanţele sincrone $Y_d(j0)$ şi $Y_q(j0)$ se determină cuplul reactiv cu relaţia:

$$M_{rv} = m\frac{U^2}{2}[Y_q(j0) - Y_d(j0)].$$

Deoarece din prelucrarea grafică se obţine ponderea iniţială a fiecărei componente de curent (i_k) şi constanta de timp de amortizare a curentului respectiv (T_k), se poate determina rezistenţa şi reactanţa circuitului respectiv raportate la stator deoarece se cunoaşte rezistenţa circuitului indus, inclusiv rezistenţele suplimentare din timpul probei. Cunoscînd astfel r_a, r_E, r_{Dk} şi x_σ, x_{ad}, $x_{\sigma E}$, $x_{\sigma Dk}$ respectiv

r_{Qk} şi X_{Qk} se pot reprezenta schemele echivalente pe axele d şi q ale maşinii.

În caz că se asigură precizia necesară determinărilor experimentale şi acurateţă în prelucrarea curbelor, rezultatele respective pot fi considerate ca etalon pentru detectarea modificărilor survenite în starea maşinii (integritatea înfăşurărilor de amortizare, apariţia unor noi circuite de amortizare prin deteriorarea lacului izolant între tole sau prin modificarea suprafeţei de fretaj între cape şi miezul rotorului etc.) prin repetarea probelor în condiţii externe identice, la anumite intervale de timp sau după un regim nenormal şi confruntarea rezultatelor lor cu cele iniţiale „etalon".

Modelarea maşinii sincrone pe calculatoare analogice poate fi realizată cel mai fidel numai dacă se cunoaşte schema echivalentă completă a reactanţelor; aceasta se obţine o dată cu determinarea caracteristicilor de frecvenţă. În acest mod caracteristicile de frecvenţă îşi găsesc aplicaţii în studiul de detaliu cu calculatoare analogice a celor mai diverse regimuri ale maşinii sincrone.

5. Concluzii

— Caracteristicile de frecvenţă ale maşinii sincrone au un bogat conţinut informaţional util în studiul unor multiple regimuri.

— Determinarea experimentală a caracteristicilor de frecvenţă se poate face prin înregistrarea funcţiei indiciale, metodă nedistructivă şi relativ simplă.

— Literatura de specialitate insistă mult asupra detaliilor experimentale necesare asigurării preciziei măsurătorilor; aceasta se asigură relativ mai simplu în condiţii de laborator însă în condiţii de exploatare se impun dispozitive adecvate.

Măsurătorile efectuate pe maşinile din sistemul nostru energetic scot în evidenţă avantajele de principiu ale metodei; dispersia rezultatelor obligă la continuarea unor măsurători asemănătoare cu o aparatură mai adaptată situaţiei din centrale pentru ca eliminînd erorile din montaj să se poată defini condiţiile optime pentru obţinerea preciziei necesare.

Colectivul aduce mulţumiri tov. *A. Mihailovici* şi *P. Tudor* de la HC Argeş, tov. *Al. Marin* de la TC Doiceşti pentru sprijinul acordat la efectuarea măsurătorilor şi tov. *T. Puşcoci* pentru întocmirea programului pentru calculatorul Elliott 4100.

ANEXA

$$U_d = \frac{'U_d}{\sqrt{2}U_{fn}} \qquad T_E = \frac{\omega_n L_{EE}}{R_E}, \text{ rad}$$

$$U_E = \frac{'U_E \omega_n L_{Ed}}{\sqrt{2}\,'U_{fn} E_E} \qquad T_{Dk} = \frac{\omega_n L_{DkDk}}{R_{Dk}}, \text{ rad}$$

$$i_d = \frac{'i_d}{\sqrt{2}\,I_n} \qquad \sigma_{dE} = 1 - \frac{L_{dE} L_{Ed}}{L_{dd} L_{EE}}$$

$$i_E = \frac{'i_E \omega_n L_{Ed}}{\sqrt{2}\,'U_{fn}} \qquad \sigma_{dDk} = 1 - \frac{L_{dDk} L_{Dkd}}{L_{dd} L_{D_k D_k}}$$

$$i_{Dk} = \frac{'i_{D_k} n L_{D_k d}}{\sqrt{2}\,'U_{fn}} \qquad \sigma_{EDk} = 1 - \frac{L_{EDk} L_{DkE}}{L_{EE} L_{DkDk}}$$

$$Dk = {'\psi}_{Dk} \frac{\omega_n L_{D_k d}}{\sqrt{2}\,U_{fn} L_{DkDk}} \qquad \mu_{EkDk} = 1 - \frac{L_{Ed} L_{DkE}}{L_{EE} L_{Dkd}}$$

$$\psi_E = {'\psi}_E \frac{\omega_n L_{Ed}}{\sqrt{2}\,U_{fn} L_{EE}} \qquad \mu_{DkD\nu} = 1 - \frac{L_{DkD\nu} L_{dDk}}{L_{DkDk} L_{dD\nu}}$$

$$x_d = x_{ad} + x_{\sigma d} + x_e$$

$$L_{dd} = L_{ad} + L_{\sigma d} + L_e \qquad \sigma_{DkD\nu} = 1 - \frac{L_{DkD\nu} L_{D\nu Dk}}{L_{D\nu D\nu} L_{DkDk}}$$

$$L_{DkDk} = L_{ad} + L_{\sigma D_k}$$

$'U$, $'I$, $'\psi$ etc. sînt valori momentane exprimate în unităţi fizice, restul notaţiilor sînt cele uzuale.

Bibliografie

[1] *Adkins, B.* The general theory of electrical machines (Obsciaia teoria elektriceskih maşin) GEI, Moscova—Leningrad, 1960.

[2] *Dordea, T.* Maşini electrice vol. **I, II.** Institutul politehnic Timişoara, 1967.

[3] *Kazovski, E.* Perehodniie proţessî v elektriceskih maşinah peremennovo toka. I. Ac. Nauk U.R.S.S., 1962.

[4] *Oppelt, W.* Tehnica reglării automate. Bucureşti, Editura tehnică, 1965.

[5] *Bîrgăuanu, M., Creţu, D., Oprişan, P.* şi *Tătaru, M.* Modelarea analogică a motorului sincron în regimuri tranzitorii electromagnetice şi dinamice. În: St. şi cerc. energ. şi electr. tom **15**, nr. 1, 1965.

[6] *Creţu, D., Marini, G.* şi *Puşcoci, T.* Unele concluzii privind determinarea în condiţii de exploatare a caracteristicilor şi parametrilor turbogeneratoarelor. Sesiunea tehnico-ştiinţifică IRME, Bucureşti, 1968.

[7] *Concordia, C.* Sinhronniie maşini. Perehodniie i ustanovivşiesea proţessî. GEI, Moscova—Leningrad, 1959.

Intrat în redacţie la 7.III.1969

Caracteristicile de pornire ale maşinilor sincrone cu poli aparenţi masivi

ANDREI NICOLAIDE — Braşov şi ION CĂRUŢAŞU — Bucureşti *

CZ 621.313.322–513.042.13

Construcţia de maşini sincrone cu poli aparenţi masivi este mult utilizată pentru maşinile destinate anumitor aplicaţii, datorită capacităţii calorifice mari a polilor masivi. În cazul acestor maşini, la pornirea în asincron, apare o încălzire mult mai mică a oţelului polilor decît încălzirea coliviei care se produce în aceleaşi condiţii, în cazul maşinilor sincrone cu poli lamelaţi şi colivie de pornire. Construcţia cu poli masivi se utilizează şi la unele generatoare sincrone de mare putere, datorită rigidităţii ei.

Pentru a putea calcula caracteristicile de pornire şi de funcţionare în asincron a maşinii sincrone cu poli masivi, trebuie cunoscuţi parametrii amortizorului masiv.

Contribuţii importante la calculul parametrilor şi caracteristicilor de pornire pentru maşinile cu amortizoare masive au fost aduse de mai mulţi autori în diferite lucrări, ca de exemplu de Gibbs [1], Balian [2], Pik-Piciak [3], Postnikov [4], Kucevalov [5]. Totuşi în lucrările menţionate se neglijează anumiţi factori importanţi. Astfel, raportarea la stator nu este tratată cu destulă exactitate şi nu se studiază nici cuplul produs de cîmpul invers datorită nesimetriei electrice şi magnetice a rotorului, deşi uneori acest cuplu poate fi deosebit de important.

În lucrările anterioare [6], [7], [8] s-au luat în considerare aceste aspecte. Metoda expusă în lucrările [6] şi [7] a fost aplicată în numeroase cazuri şi a dat rezultate care concordă în general bine cu experienţa, apărînd totodată necesitatea de a o perfecţiona.

În această lucrare se aduc o serie de completări importante faţă de lucrările anterioare şi faţă de lucrarea [6]. În primul rînd aplicarea metodei de calcul introduse în lucrarea [6], prezintă inconvenientul de a necesita calcule laborioase, datorită aplicării unei metode de aproximaţii succesive. În cazul de faţă s-a efectuat schema logică de calcul şi programarea pentru o maşină numerică de calcul, ceea ce elimină dificultatea pe care o reprezintă calculele laborioase.

În lucrarea [6], pentru a face calculele mai uşor de aplicat, s-a utilizat la calculul cuplului minim o expresie simplificată şi anume stabilită pentru rotoare cu colivie. Această expresie nu este în general prea exactă pentru cazul polilor masivi, deoarece se neglijează o serie de termeni care uneori pot fi importanţi. De asemenea, în lucrarea [6] s-a neglijat fluxul de scăpări dintre polii vecini.

Metoda din lucrarea [6], deşi dă rezultate care concordă bine cu cele experimentale pentru cazul înfăşurării de excitaţie deschise sau închise pe o rezistenţă relativ mare (aproximativ de 10 ori rezistenţa înfăşurării de excitaţie), nu dă rezultate satisfăcătoare pentru cazul înfăşurării de excitaţie scurtcircuitate sau închise pe o rezistenţă mică, după cum se va arăta mai departe. De aceea ultimul caz nu a fost tratat în lucrarea [6] urmînd să fie studiat ulterior.

În lucrarea de faţă se iau în considerare toate aceste elemente, iar calculele laborioase sînt evitate, utilizîndu-se calculatorul numeric, ceea ce permite ca la calculul cuplului şi curentului la funcţionarea în asincron, să se utilizeze nu expresii simplificate cum s-a făcut în toate lucrările anterioare ci expresii complete. S-au utilizat schemele echivalente completate indicate în lucrarea [5]. În plus faţă de lucrarea [5] s-a introdus exprimarea parametrilor oţelului masiv în funcţie de curenţii din ramurile schemei echivalente, ceea ce reprezintă un avantaj însemnat pentru soluţionarea problemei de calcul a diferitelor caracteristici, la maşina numerică de calcul.

În ansamblu în lucrare se urmăreşte să se dea o metodă de calcul mult mai exactă decît în lucrările anterioare, prin luarea în considerare a unor factori importanţi anterior neglijaţi, dar în acelaşi timp mult mai uşor de aplicat chiar pentru cazurile în care metodele cunoscute dau rezultate practic satisfăcătoare.

Ipotezele simplificatoare adoptate sînt aceleaşi ca în lucrările anterioare [6], [8]. Pentru studiul cîmpului electromagnetic în oţel avînd în vedere că acesta este un mediu neliniar se poate utiliza după cum s-a arătat în lucrarea [16] una din metodele expuse în lucrările [10], [13], [14] referitor la unda electromagnetică plană. Este însă necesar să se ţină seamă că în cazul de faţă unda electromagnetică nu este plană şi metodele menţionate trebuie extinse în mod corespunzător, ceea ce se poate face în modul indicat în lucrarea [6]. Curba de magnetizare a oţelului masiv se va considera de formă parabolică $B_m = kH_m^{\frac{1}{n}}$. Repartiţia cîmpului electromagnetic în oţel, obţinută pen-

* Dr. ing. *A. Nicolaide* este profesor la Institutul Politehnic — Braşov, iar *I. Căruţaşu* este matematician la I.C.P.U.E.C. Bucureşti

tru această expresie a curbei de magnetizare, este în bună concordanță cu rezultatele experimentale, obținute în studiul repartiției cîmpului electromagnetic în interiorul oțelului [16], iar calculele sînt relativ simple de aceea această aproximare este justificată și convenabilă.

1. Schemele echivalente ale mașinii sincrone cu poli aparenți masivi la funcționarea în asincron

Polii rotorici și indicarea dimensiunilor principale sînt date în figura 1.

Într-o primă aproximație schemele echivalente pentru cele două axe sînt analoge celor

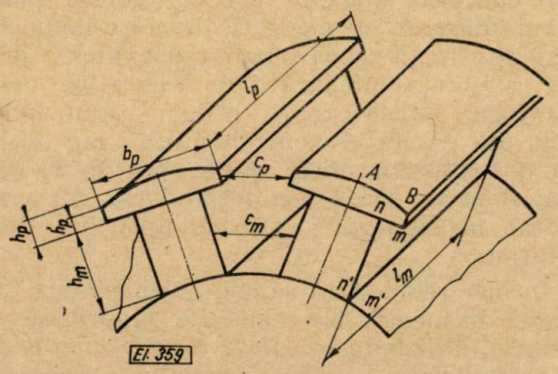


Fig. 1. Polii rotorici și indicarea dimensiunilor principale.

de la mașina cu colivie. Dacă pentru axa longitudinală se ia în considerare că datorită saturației fluxul magnetic nu trece de la un pol la altul numai prin miez ci și prin aer, atunci rezultă că fluxul care produce pierderile în miezul polului este mai mic decît cel care produce pierderile în piesa polară masivă. Studiul teoretic și experimental arată că acest fenomen poate fi de multe ori important [5].

Schema echivalentă longitudinală se poate stabili dacă se ține seamă de fluxurile care intervin și este reprezentată în figura 2. În

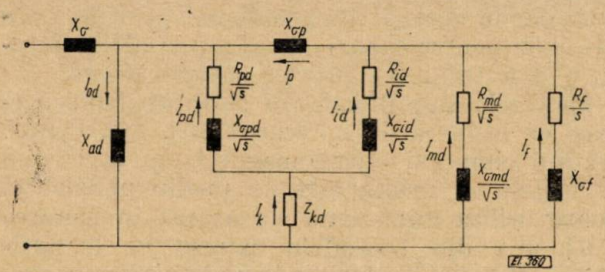


Fig. 2. Schema echivalentă longitudinală.

general, impedanța de dispersie a inelelor de conexiune Z_{kd} se poate neglija. Schema echivalentă transversală este reprezentată în figura 3.

Aceste scheme echivalente au fost stabilite în lucrarea [5]. După cum se va vedea în continuare, parametrii introduși în aceste scheme sînt însă exprimați mai exact, deoarece s-a efectuat o raportare mai exactă la stator. De asemenea, în plus față de lucrarea [5], parametrii oțelului masiv sînt exprimați în funcție

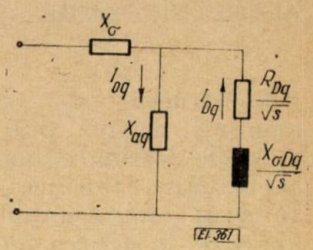


Fig. 3. Schema echivalentă transversală.

de curenții din ramurile respective, ceea ce ușurează mult soluționarea problemei de calcul a caracteristicilor de funcționare în asincron a mașinii la calculatorul numeric.

Parametrii longitudinali

Liniile de cîmp magnetic în piesa polară sînt reprezentate în figura 4.

Puterea în complex dezvoltată în oțel se va calcula cu formula (21) din lucrarea [6]. Puterea în complex dezvoltată în oțel are partea reală egală cu pierderile, iar partea imaginară egală cu puterea reactivă de magnetizare. Această putere în complex dezvoltată în oțel se va descompune în continuare pentru a fi calcu-

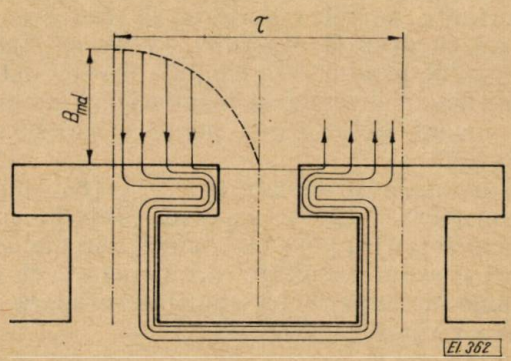


Fig. 4. Reprezentarea aproximativă a liniilor cîmpului magnetic longitudinal, la mașina sincronă cu poli ieșiți masivi la funcționarea în asincron.

lată, în componentele aferente suprafeței care delimitează polii.

Parametrii suprafeței superioare a piesei polare

Porțiunea corespunde arcului AB din figura 1.

Puterea în complex corespunzătoare suprafeței superioare se va nota cu S_{pd}. Conform lucrării [6] se obține:

$$\dot{S}_{pd} = \rho \frac{\dot{\beta}}{2k_y} \alpha_0 k^{\frac{1}{2}} \left(k_n k^{-\frac{1}{2}} \alpha_0 \frac{\tau}{\pi} B_{md} \right)^{\frac{3n+1}{n+1}} l_i 2 \int_0^{\frac{\alpha\tau}{2}} \left(\sin \frac{\pi}{\tau} y \right)^{\frac{3n+1}{n+1}} dy.$$

Expresia puterii aparente în complex, dezvoltată în cei $2p$ poli este:

$$\dot{S}_{pd}=\rho\frac{\dot{\beta}}{4k_y}\alpha_0 k^{\frac{1}{2}}\left(k_n k^{-\frac{1}{2}}\alpha_0\frac{\tau}{\pi}B_{md}\right)^{\frac{3n+1}{n+1}} l_i D_{pd}\, 2p \quad (2)$$

$$D_{pd}=\frac{4}{\pi}\int_0^{\frac{\alpha\pi}{2}}(\sin\theta)^{\frac{3n+1}{n+1}}\,\mathrm{d}\theta. \quad (2\,a)$$

Expresia puterii aparente în complex, dezvoltată în înfăşurarea echivalentă longitudinală pentru o maşină cu două faze este [9]:

$$\dot{S}_{pd}=\frac{\left(\frac{2}{\pi}k_d\omega B_{md}\tau l_i w_1 k_{w1}\right)^2}{2\dot{Z}^*_{pd}}. \quad (3)$$

Din egalitatea relaţiilor (2) şi (3) se obţine expresia impedanţei de dispersie longitudinale corespunzătoare suprafeţei dinspre întrefier a pieselor polare

$$\dot{Z}_{pd}=\frac{\left(\frac{2}{\pi}k_d\omega B_{md}\tau l_i w_1 k_{w1}\right)^2}{2p\,2\rho\frac{\dot{\beta}^*}{k_y}\alpha_0 k^{\frac{1}{2}}\frac{\tau}{\pi}\left(k_n k^{-\frac{1}{2}}\alpha_0\frac{\tau}{\pi}B_{md}\right)^{\frac{3n+1}{n+1}} l_i\frac{\pi}{4}D_{pd}}. \quad (4)$$

Impedanţa de dispersie se raportează la stator, împărţind pe $\dot{Z}_{pd}$ cu alunecarea s şi înlocuind ω prin $s\omega$. Impedanţa maşinii avînd indusul cu m faze, se obţine înmulţind cu $\frac{m}{2}$ valoarea obţinută pentru maşina cu două faze. Rezultă expresia impedanţei de dispersie $\dot{Z}_{pd}$, raportată la stator pentru maşina cu m faze, la o alunecare s:

$$\dot{Z}_{pd}(s)=\frac{\dot{\beta}\frac{m}{2}\left(\frac{2}{\pi}k_d s\omega B_{md}\tau l_i w_1 k_{w1}\right)^2}{2p\,2\rho\frac{\beta^2}{k_y}\alpha_0 k^{\frac{1}{2}}\frac{\tau}{\pi}\left(k_n k^{-\frac{1}{2}}\alpha_0\frac{\tau}{\pi}B_{md}\right)^{\frac{3n+1}{n+1}} l_i\frac{\pi}{4}D_{pd}}\cdot\frac{1}{s}. \quad (5)$$

Inducţia magnetică B_{md} rezultă din egalitatea:

$$X_{ad}\sqrt{2}\,\dot{I}_{0d}=\frac{2}{\pi}\tau l_i B_{md}\omega w_1 k_{w1}k_d.$$

Dacă se neglijează impedanţa inelelor de conexiune, schema echivalentă din figura 2 se simplifică şi se poate scrie:

$$-\dot{Z}_{pd}\dot{I}_{pd}=\mathrm{j}X_{ad}\dot{I}_{0d}.$$

şi rezultă:

$$B_{md}=\frac{Z_{Dd}\sqrt{2}\,I_{pd}I_N}{\omega\frac{2}{\pi}w_1 k_{w1}k_d\tau l_i}, \quad (6)$$

unde I_{pd} este exprimat în unităţi relative, iar I_N este curentul nominal. Impedanţa $\dot{Z}_{pd}$ se va exprima în unităţi relative împărţind valoarea dată de relaţia (5) cu impedanţa nominală care este [4]:

$$Z_N=\frac{\sqrt{2}\,l_i w_1^2 k_{w1} m\omega B_{\delta N}}{\pi p A_N}. \quad (7)$$

Înlocuind în relaţia (5) pe B_{md} cu expresia (6) şi împărţind pe $\dot{z}_{pd}$ cu impedanţa nominală Z_N se obţine:

$$\dot{Z}_{pd}(s)=$$

$$=\frac{\beta_1+\mathrm{j}\beta_2}{\beta}S_n\frac{k_d^{\frac{3n+1}{2n}}}{D_d^{\frac{n+1}{2n}}}\cdot\frac{1}{B_{\delta N}\tau}\sqrt{\frac{A_N^{\frac{n+1}{n}}k_{w1}^{\frac{n+1}{n}}\rho\pi k}{2f I_{pd}^{\frac{n-1}{n}}}}\cdot\frac{1}{\sqrt{s}}, \quad (8)$$

$$S_n=\frac{1}{\beta^{\frac{n+1}{2n}}}\cdot\frac{k_y^{\frac{n+1}{2n}}}{k_n^{\frac{3n+1}{2n}}}\cdot 2^{\frac{5n+3}{4n}}. \quad (8a)$$

În cazul rotorului masiv cilindric nesaturat, $n=1$, $\alpha=1$, şi se regăseşte expresia cunoscută a impedanţei de dispersie [4].

Se va nota cu R_{pd} şi $X_{\sigma pd}$ valoarea parametrilor respectivi pentru $s=1$.

Parametrii suprafeţei interioare a piesei polare. Porţiunea corespunde drumului mn din figura 1. Se obţine analog ca mai înainte expresia puterii aparente în complex:

$$\dot{S}_{id}=2\rho\frac{\dot{\beta}}{2k_y}\alpha_0 k^{\frac{1}{2}}\left(k_n k^{-\frac{1}{2}}\alpha_0\frac{1}{2}\frac{\Phi_m}{l_i}\right)^{\frac{3n+1}{n+1}}\cdot l_i\frac{b_p-b_m}{2}, \quad (9)$$

unde Φ_m este fluxul magnetic care trece în miezul polului. S-a admis $l_p=l_i$; fluxul magnetic fascicular care acţionează asupra înfăşurării echivalente este $\frac{k_d}{\sin\frac{\alpha\pi}{2}}\Phi_m$.

Parametrii miezului masiv al polului şi jugului polar. Porţiunea corespunde drumului $nn'm'$ din figura 1. Se obţine analog ca mai înainte:

$$\dot{S}_m=\rho\frac{\dot{\beta}}{2k_y}\alpha_0 k^{\frac{1}{2}}\left(k_n k^{-\frac{1}{2}}\alpha_0\frac{1}{2}\cdot\frac{\Phi_m}{l_i}\right)^{\frac{3n+1}{n+1}} 2h_b(l_m+b_m), \quad (10)$$

unde h_b este lungimea $nn'm'$ din figura 1. Rezultă în acelaşi mod ca mai înainte impe-

danța de dispersie corespunzătoare drumului $mnn'm'$:

$$\dot{Z}_{id}(s) = \frac{\beta_1 + j\beta_2}{\beta} S_n \frac{k_d^{\frac{3n+1}{2n}}}{D_{id}^{\frac{n+1}{2n}}} \cdot \frac{1}{B_{\delta N}\tau} \sqrt{\frac{A_N^{\frac{n+1}{n}} k_{w1}^{\frac{n+1}{n}} \rho\pi k}{2f I_{id}^{\frac{n-1}{n}}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{s}}, \quad (11)$$

$$D_{id} = \left[2\frac{b_p - b_m}{\tau} + 4\frac{h_b}{\tau}\left(\frac{l_i}{l_m + b_m}\right)^{\frac{2n}{n+1}}\right]\left(\sin\frac{\alpha\pi}{2}\right)^{\frac{3n+1}{n+1}}. \quad (11\,a)$$

Se va nota cu R_{id} și $X_{\sigma id}$ valoarea parametrilor respectivi pentru $s = 1$.

Parametrii transversali

Liniile de cîmp magnetic sînt reprezentate în figura 5. În spațiul interpolar se va presupune cîmpul magnetic nul.

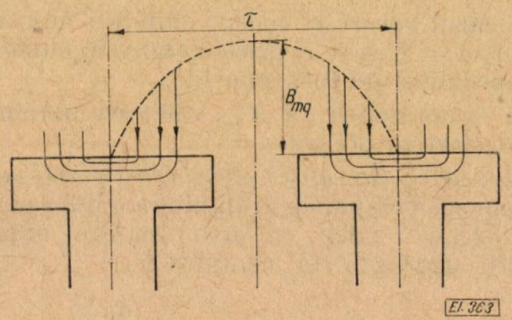


Fig. 5. Reprezentarea aproximativă a liniilor cîmpului magnetic transversal, la mașina sincronă cu poli ieșiți masivi la funcționarea în asincron.

În acest caz :

$$\dot{B}_{my} = \frac{\dot{\beta} - 1}{z_k} \cdot \frac{\tau}{\pi} \dot{B}_{mq}\left(1 - \frac{z}{z_k}\right)^{\dot{\beta}-2}\left(\cos\frac{\pi}{\tau}y - \cos\frac{\alpha\pi}{2}\right).$$

Se obține următoarea expresie a impedanței de dispersie transversale :

$$\dot{Z}_{Dq} = \frac{\beta_1 + j\beta_2}{\beta} S_n \frac{k_q^{\frac{3n+1}{2n}}}{D_q^{\frac{n+1}{2n}}} \cdot \frac{1}{B_{\delta N}\tau} \sqrt{\frac{A_N^{\frac{n+1}{n}} k_{w1}^{\frac{n+1}{n}} \rho\pi k}{2f I_{Dq}^{\frac{n-1}{n}}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{s}} \quad (12)$$

$$D_q = \frac{4}{\pi}\int_0^{\frac{\alpha\pi}{2}}\left(\cos\theta - \cos\frac{\alpha\pi}{2}\right)^{\frac{3n+1}{n+1}} d\theta, \quad (12\,a)$$

unde curentul I_{Dq} și impedanța $\dot{Z}_{Dq}$ sînt exprimate în unități relative. Se va nota cu R_{Dq} și $X_{\sigma Dq}$, valoarea parametrilor respectivi pentru $s = 1$.

Expresiile simplificate ale parametrilor

În cazul caracteristicii de magnetizare rectangulare $n = \infty$ și expresiile parametrilor devin simple iar $k = \frac{4}{\pi} B_s$ unde B_s este valoarea de saturație a inducției magnetice. Această

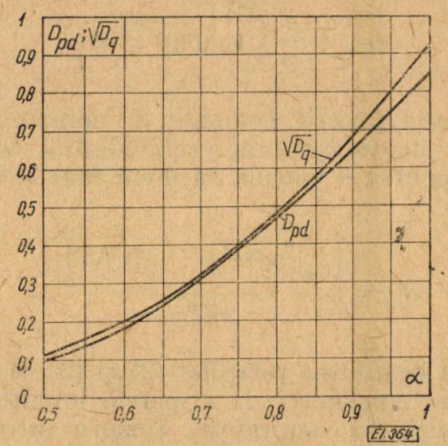


Fig. 6. Curbele coeficienților D_{pd} și $\sqrt{D_q}$ în funcție de factorul de acoperire a pasului polar.

simplificare conduce la rezultate practic satisfăcătoare.

În figura 6 sînt dați coeficienții D_{pd} și $\sqrt{D_q}$ pentru acest caz.

Ceilalți parametri ai schemelor echivalente

Reactanța scăpărilor între piesele polare vecine $X_{\sigma p}$ se poate calcula în modul cunoscut [4], [5]. Efectuînd raportarea la stator mai exact decît în literatură se obține în unități relative :

$$X_{\sigma p} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \mu_0 \frac{A_N}{B_{\delta N}} k_d^2 k_{w1} \frac{l_p}{l_i} \cdot \frac{1}{\left(\sin\frac{\alpha\pi}{2}\right)^2} \lambda_p, \quad (13)$$

$$\lambda_p = \frac{h_{pm}}{c_p} + 1{,}35\frac{h_{pm}}{l_p}, \quad (13\,a)$$

$$h_{pm} = \frac{2h_p + h'_p}{3}, \quad (13\,b)$$

$$c_p \approx (1 - \alpha)\tau. \quad (13\,c)$$

Dimensiunile sînt indicate în figura 1. S-ar putea lua în considerare și fluxul de scăpări dintre miezul polilor pe porțiunea mn, după cum se face în lucrarea [3]; calculele sînt însă mai complicate iar influența acestui flux este mică. Raportarea la stator se face ușor dacă se face abstracție de celelalte impedanțe ale circuitelor rotorice și deci se consideră că rotorul intervine numai prin reactanța $X_{\sigma p}$. Restul parametrilor se pot calcula prin metodele clasice [11], [4]. Dacă reactanța $X_{\sigma p}$ este negli-

a bilă față de celelalte reactanțe din schema echivalentă se regăsesc schemele simple uzuale [6], [4].

Calculul impedanței de dispersie a inelelor de conexiune se poate face ca la coliviile de amortizare [9], dar în cazul polilor masivi, în general această impedanță se poate neglija, ceea ce nu dă abateri mari de la realitate, iar calculele se simplifică foarte mult.

Efectul de capăt

Expresia coeficientului efectului de capăt se calculează pentru suprafața desfășurată a polilor conform figurii 7, pentru axa longitu-

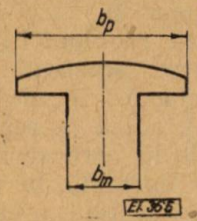


Fig. 7. Explicativă la calculul coeficientului efectului de capăt i axa longitudinală.

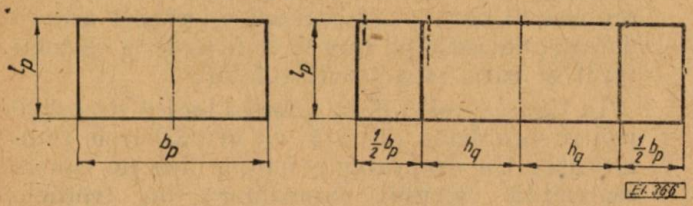


Fig. 8. Explicativă la calculul coeficientului efectului de capăt în axa transversală.

dinală și conform figurii 8, pentru axa transversală [8]. Din figura 7 se obține $b = b_p$ iar din figura 8 se obține $b_q = b_p + 2h_q$ unde h_q este lungimea liniei $mnn'm'$ din figura 1.

Coeficientul k_f al efectului de capăt este funcție de $\frac{b}{l}$; pentru axa longitudinală coeficientul k_f a fost notat cu k_{fd}, iar pentru axa transversală cu k_{fq}. Lățimea b a fost notată cu b_d, respectiv cu b_q, iar lungimea l este egală în ambele cazuri cu lungimea l_p a piesei polare.

Coeficientul k_f se poate calcula cu ajutorul relației [8]:

$$k_f = \frac{1}{1 - \frac{2}{\pi}\cdot\frac{b}{l}\,\mathrm{th}\,\frac{\pi}{2}\cdot\frac{l}{b}}$$

sau se poate lua din figurile date în lucrarea [8].

Pentru a lua în considerare efectul de capăt în axa longitudinală se înmulțește atît D_{d1} cît și primul termen al expresiei D_{d2} cu k_{fd}.

2. Caracteristicile de funcționare în asincron

În continuare calculul se poate efectua după metodele cunoscute [12]. Calculul trebuie însă repetat prin aproximări succesive astfel încît valorile curenților I_{pd}, I_{id}, I_{Dq} pentru care sînt calculați parametrii și valorile care se obțin pentru curenți introducînd parametrii respectivi în ecuații, să fie apropiate.

Pentru determinarea caracteristicilor se fac următoarele calcule:

$$\dot{Z}_{pd} = \frac{R_{pd}}{\sqrt{I_{pd}}\sqrt{s}} + \mathrm{j}\,\frac{X_{\sigma pd}}{\sqrt{I_{pd}}\sqrt{s}};$$

$$\dot{Z}_{id} = \frac{R_{id}}{\sqrt{I_{id}}\sqrt{s}} + \mathrm{j}\,\frac{X_{\sigma id}}{\sqrt{I_{id}}\sqrt{s}};$$

$$\dot{Z}_f = \frac{R_f}{s} + \mathrm{j}\,X_{\sigma f};$$

$$\dot{Z}_{Dq} = \frac{R_{Dq}}{\sqrt{I_{Dq}}\sqrt{s}} + \mathrm{j}\,\frac{X_{\sigma Dq}}{\sqrt{I_{Dq}}\sqrt{s}};$$

$$\dot{Z}_{ad} = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{j}X_{ad}} + \frac{1}{\dot{Z}_{pd}} + \frac{1}{\mathrm{j}X_{\sigma p} + \frac{1}{\frac{1}{\dot{Z}_{id}} + \frac{1}{\dot{Z}_f}}}};$$

$$\dot{Z}_{aq} = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{j}X_{aq}} + \frac{1}{\dot{Z}_{Dq}}};$$

$$\dot{Z}_{d1} = \dot{Z}_{ad} + R_1 + \mathrm{j}\,X_\sigma;$$

$$\dot{Z}_{q1} = \dot{Z}_{aq} + R_1 + \mathrm{j}\,X_\sigma;$$

$$\dot{Z}_{d3} = \dot{Z}_{ad} + \frac{R_1}{2s-1} + \mathrm{j}\,X_\sigma;$$

$$\dot{Z}_{q3} = \dot{Z}_{aq} + \frac{R_1}{2s-1} + \mathrm{j}\,X_\sigma;$$

$$\dot{Z}_{2e} = \frac{1}{2}\left[(\dot{Z}_{ad} + \dot{Z}_{aq}) - \frac{(\dot{Z}_{ad} - \dot{Z}_{aq})^2}{\dot{Z}_{d3} + \dot{Z}_{q3}}\right] = R_{2e} + \mathrm{j}\,X_{2e};$$

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_1\,\frac{\dot{Z}_{d3} + \dot{Z}_{q3}}{\dot{Z}_{d1}\dot{Z}_{q3} + \dot{Z}_{d3}\dot{Z}_{q1}};$$

$$\dot{I}_3 = -\dot{U}_1\,\frac{\dot{Z}_{d1} - \dot{Z}_{q1}}{\dot{Z}_{d1}\dot{Z}_{q3} + \dot{Z}_{d3}\dot{Z}_{q1}};$$

$$\dot{I}_d = \dot{I}_1 + \dot{I}_3;$$

$$\dot{I}_q = -\mathrm{j}\,\dot{I}_1 + \mathrm{j}\,\dot{I}_3;$$

$$I_{pd} = \frac{Z_{ad} I_d}{Z_{pd}};$$

$$I_{id} = \left|\frac{\dot{Z}_{ad}\,\dot{I}_d}{\mathrm{j}X_{\sigma p} + \frac{1}{\frac{1}{\dot{Z}_{id}} + \frac{1}{\dot{Z}_f}}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\dot{Z}_{id}} + \frac{1}{\dot{Z}_f}} \cdot \frac{1}{\dot{Z}_{id}}\right|;$$

$$I_f = I_{id}\,\frac{Z_{id}}{Z_f};\quad I_{Dq} = \left|\frac{\dot{I}_q}{\frac{1}{\mathrm{j}X_{aq}} + \frac{1}{\dot{Z}_{Dq}}} \cdot \frac{1}{\dot{Z}_{Dq}}\right|.$$

Se dă inițial $I_{pd} = 1$; $I_{id} = 1$; $I_{DQ} = 1$ și rezultă anumite valori $\dot{Z}_{pd}$, $\dot{Z}_{id}$, $\dot{Z}_{DQ}$. Efectuînd calculele cu aceste valori rezultă anumite valori pentru I_{pd}, I_{id}, I_{DQ} care diferă de cele adoptate inițial. Se recalculează $\dot{Z}_{pd}$, $\dot{Z}_{id}$, $\dot{Z}_{dq}$, cu noile valori și efectuînd din nou calculele se obțin alte valori pentru I_{pd}, I_{id}, I_{DQ}. Aceste aproximări succesive se continuă pînă cînd valorile introduse în calculul lui $\dot{Z}_{pd}$, $\dot{Z}_{id}$, $\dot{Z}_{DQ}$ și valorile rezultate pentru I_{pd}, I_{id}, I_{DQ}, au egale primele două cifre însemnătoare. De obicei cîteva aproximații succesive sînt suficiente. Calculele se efectuează ușor cu o mașină numerică de calcul.

3. Calculul numeric

Determinarea prin calcul a caracteristicilor de funcționare în asincron cu ajutorul formulelor date mai înainte, deși în principiu simplă, presupune efectuarea mai multor aproximații succesive și necesită un volum mare de calcule.

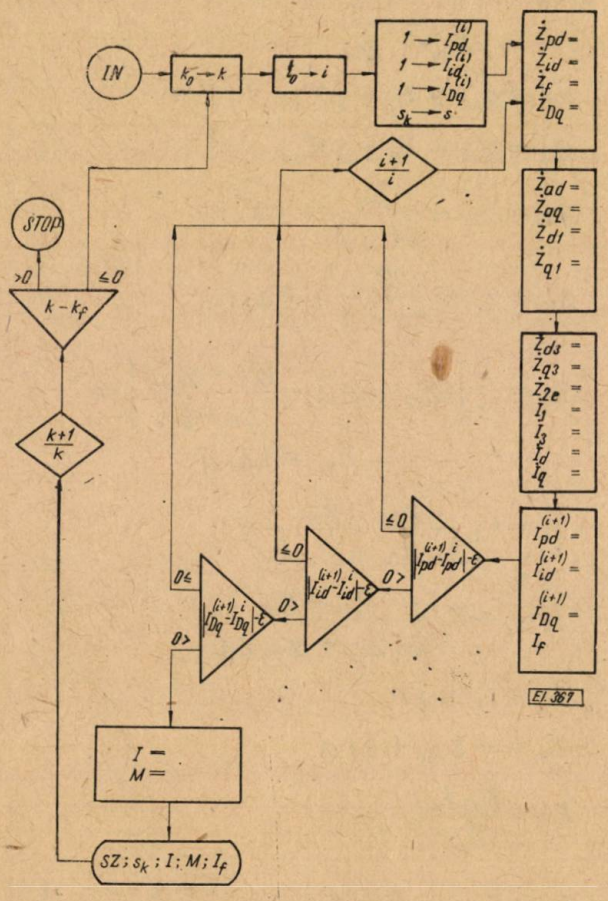


Fig. 9. Schema logică de calcul al caracteristicilor de pornire în asincron a mașinilor sincrone cu poli ieșiți masivi.

Utilizarea calculatoarelor electronice numerice permite rezolvarea practică a problemei. În cazul de față calculele au fost efectuate pe un calculator românesc CET-501. Deoarece acest calculator lucrează în regim de virgulă fixă, iar problema conține operații cu numere complexe, s-au folosit două programe interpretative și anume:

— programul interpretativ de virgulă mobilă în care un număr real este reprezentat sub forma $X = a^q m$, unde a este un număr întreg pozitiv supraunitar, q este un număr întreg (ordinul numărului), m un număr real (mantisa numărului). De exemplu $195{,}54 = 10^3 \cdot 0{,}19554$;

— programul interpretativ care să permită efectuarea operațiilor cu numere complexe.

Pentru rezolvarea unei astfel de probleme, redactarea programului de calcul complet, necesită un volum mare de lucru și există dificultatea de a memora ordinea în care trebuie calculate diferitele părți ale problemei și toate conexiunile existente între acestea. Pentru a înlătura aceste inconveniente se alcătuiește o schemă logică de calcul, adică se reprezintă grafic unitățile funcționale în care se împarte problema, indicînd ce se întîmplă în diferite momente cu informația care trebuie prelucrată, ordinea în care se efectuează operațiile asupra datelor, deciziile pe care trebuie să le ia calculatorul și care este rezultatul lor.

În figura 9 este dată schema logică de calcul pentru problema de față, cu următoarele semnificații. Un dreptunghi, numit bloc de calcul, reprezintă calculul expresiilor; un triunghi numit blocul de alternativă indică deciziile logice, un romb este un bloc pentru operații indiciale și modifică sau formează operații; un cerc reprezintă blocul pentru pornire sau oprire; dreptunghiul cu laturile rotunjite este blocul pentru ieșire care indică rezultatele tipărite.

4. Calculul încălzirii rotorului la pornire

În timpul pornirii polii masivi se pot încălzi mult datorită curenților din oțelul masiv. Încălzirile sînt cu atît mai mari cu cît durata de pornire este mai mare. Încălziri prea mari sînt periculoase atît pentru înfășurarea de excitație dispusă pe poli cît și pentru celelalte piese ale mașinii.

Calculul încălzirii se poate face după metoda expusă în lucrarea [15]. Pentru a putea utiliza metoda respectivă, este necesar să se cunoască adîncimea de pătrundere a cîmpului electromagnetic în rotor. Adîncimea de pătrundere variază de la un punct la altul al suprafeței rotorului. După cum s-a arătat în lucrarea [8] se obțin rezultate cu deplină siguranță dacă se utilizează în acest scop o valoare medie a adîncimii de pătrundere dată de relația:

$$\Delta = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\alpha_e}$$

care în cazul caracteristicii de magnetizare limită rectangulară dă:

$$\frac{1}{\alpha} = 0{,}263 \sqrt[3]{w},$$

unde w este valoarea medie a pierderilor în oțelul rotorului pe unitatea de suprafață în W/cm², pentru $s = 1$.

Încălzirile rotorului masiv pentru această valoare a lui α, rezultă puțin mai mari decît în realitate.

5. Calcule și încercări experimentale

S-au calculat caracteristicile de pornire ale unui motor sincron tip MSA-G de putere nominală $P_N = 500$ kW, tensiune nominală între faze $U = 6\,000$ V, curentul nominal pe fază $I_N = 51{,}5$ A, conexiune stea, cos $\varphi = 1$, $n = 750$ rot/min, $f = 50$ Hz. Datele unui motor de acest tip sînt indicate în lucrările [7], [8].

În această mașină $h_p = 2{,}6$ cm; $h'_p = 1$ cm.

S-au obținut prin calcul următorii parametri exprimați în unități relative:

$X_{ad} = 0{,}793$; $X_{aq} = 0{,}658$; $X_{\sigma} = 0{,}0967$;
$R_1 = 0{,}0137$; $R_{pd} = 0{,}235$; $X_{\sigma pd} = 0{,}166$;
$R_{id} = 0{,}187$; $X_{\sigma id} = 0{,}13$; $X_{\sigma p} = 0{,}044$;
$R_f = 0{,}0143$; $X_{\sigma f} = 0{,}126$. $R_{Dq} = 0{,}300$;
$X_{\sigma Dq} = 0{,}213$

Cuplurile și curenții mașinii la diferite alunecări, au fost măsurați și experimental. Determinarea experimentală a cuplurilor s-a făcut cu ajutorul unei instalații cu dinam frînă.

În figurile 10—15 s-au reprezentat rezultatele obținute experimental cu linie plină și rezul-

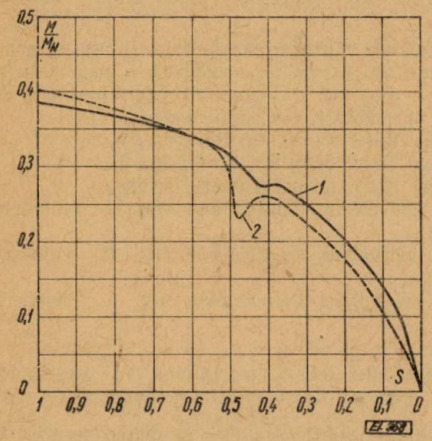


Fig. 10. Curba cuplului la pornirea în asincron a motorului sincron MSA-G-500 kW, fără inele de conexiune, cu înfășurarea de excitație deschisă la tensiunea de linie de 3000 V, obținută experimental (linie plină) și prin calcul (linie punctată).

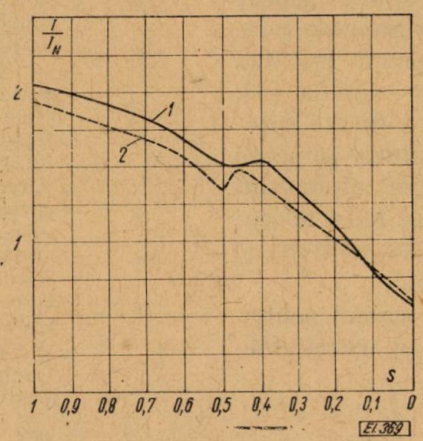


Fig. 11. Curba curentului la pornirea în asincron a motorului MSA-G-500 kW, fără inele de conexiune cu înfășurarea de excitație deschisă, la tensiunea de linie de 3000 V, obținută experimental (linie plină) și prin calcul(linie punctată).

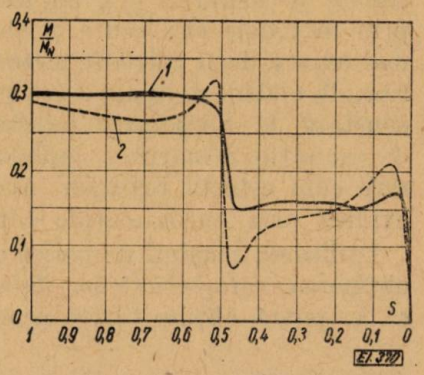


Fig. 12. Curba cuplului la pornirea în asincron a motorului sincron MSA-G-500 kW, fără inele de conexiune, cu înfășurarea de excitație închisă pe o rezistență, la tensiunea de linie de 3000 V, obținută experimental (linie plină) și prin calcul (linie punctată).

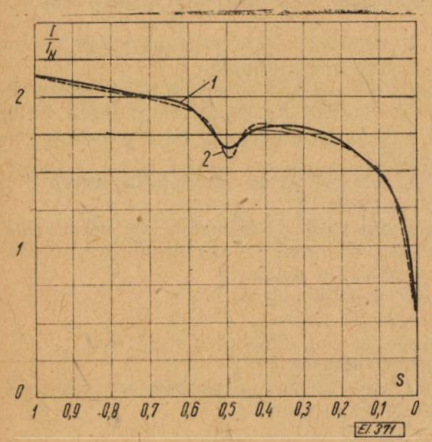


Fig. 13. Curba curentului la pornirea în asincron a motorului sincron MSA-G-500 kW, fără inele de conexiune, cu înfășurarea de excitație închisă pe o rezistență la tensiunea de linie de 3000 V, obținută experimental (linie plină) și prin calcul (linie punctată).

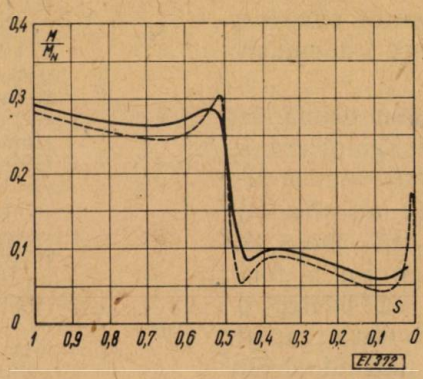


Fig. 14. Curba cuplului la pornirea în asincron a motorului sincron MSA-G-500 kW, fără inele de conexiune cu înfășurarea de excitație scurtcircuitată, la tensiunea de linie de 3000 V, obținută experimental (linie plină) și prin calcul (linie punctată).

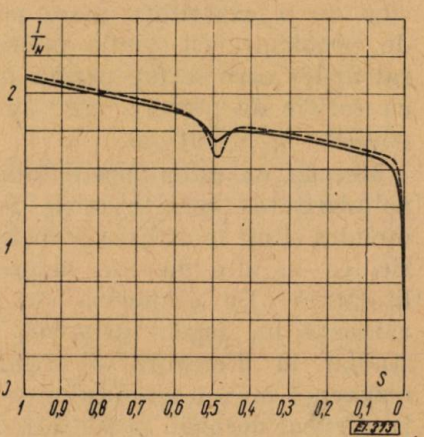


Fig. 15. Curba curentului la pornirea în asincron a motorului sincron MSA-G-500 kW, fără inele de conexiune, cu înfășurarea de excitație scurtcircuitată, la tensiunea de linie de 3000 V, obținută experimental (linie plină) și prin calcul (linie punctată).

tatele obținute din calcul cu linie întreruptă. Din compararea rezultatelor experimentale cu cele obținute prin calcul se constată o bună concordanță. Pentru cazurile în care înfășurarea de excitație este deschisă sau închisă pe o rezistență relativ mare (aproximativ de 10 ori rezistența circuitului de excitație), rezultatele obținute prin metoda expusă în lucrarea de față nu diferă mult de cele obținute prin metoda expusă în lucrarea [6], totuși sînt mai apropiate de rezultatele experimentale.

Se constată de asemenea un aspect deosebit de interesant care nu este semnalat în literatură și anume la o rezistență mai mică a circuitului de excitație cuplul la sfîrșitul perioadei de pornire deci la o turație de aproximativ 95% poate fi mult mai mic decît pentru o rezistență mare de excitație. Acest aspect observat cu ocazia studiilor experimentale referitoare la lucrarea [7], nu s-a putut justifica prin metodele cunoscute și chiar metoda [6], mai exactă decît celelalte metode indicate anterior, dă o abatere în acest caz și anume se poate constata la micșorarea rezistenței circuitului de excitație, o mărire a cuplului și nu o micșorare cum este în realitate. Această abatere se explică prin aproximațiile admise.

Utilizarea mașinii numerice de calcul pentru obținerea caracteristicilor face ca rezultatele să se poată obține foarte ușor.

6. Concluzii

Metoda indicată permite calculul caracteristicilor de funcționare în asincron a mașinilor sincrone cu poli aparenți masivi și se bazează pe un studiu amănunțit al cîmpului electromagnetic în mașină. Rezultatele pe care le dă sînt de o exactitate mare pentru acest gen de probleme, cu nimic inferioară exactității calculelor care se fac pentru mașinile sincrone cu colivie de pornire, care au fost amănunțit studiate în literatură.

Metoda de calcul prezentată ține seamă de neliniaritatea caracteristicii de magnetizare a oțelului și nu se utilizează coeficienți semiempirici ca în alte metode cunoscute anterior în literatură. De asemenea s-a putut pune în evidență un aspect deosebit, care nu a fost studiat în literatură și anume că pentru o rezistență mică a circuitului de excitație cuplul la sfîrșitul pornirii, poate fi mult mai mic decît pentru o rezistență mare a acestui circuit. Există astfel posibilitatea studierii unei mașini sincrone cu poli aparenți masivi, astfel încît să se obțină caracteristici optime de funcționare în asincron fapt deosebit de important în numeroase aplicații ale mașinilor sincrone.

NOTAȚIILE PRINCIPALE

A_N — valoarea nominală a păturii liniare de curent;
$B_{\delta N}$ — valoarea maximă a inducției magnetice nominale în întrefier;
B_m — valoarea maximă a inducției magnetice;
B_{mz0} — valoarea maximă a componentei normale a armonicii fundamentale de timp a inducției magnetice, pentru $y = z = 0$;
B_{md} — valoarea maximă a armonicii fundamentale de timp a inducției magnetice rezultante în axa longitudinală, dacă întrefierul ar fi constant și egal cu întrefierul echivalent în axa polului;
B_{mq} — valoarea maximă a armonicii fundamentale de timp a inducției magnetice rezultante în axa transversală, definite analog lui B_{md} din axa longitudirală;
B_s — valoarea inducției magnetice de saturație din caracteristica de magnetizare a oțelului;
b_m — lățimea miezului polului;
b_p — lățimea piesei polare (fig. 1);
D_{pd} — coeficient din expresia parametrilor longitudinali;
D_{id} — coeficient din expresia parametrilor longitudinali;
D_q — coeficient din expresia parametrilor transversali;
H_m — valoarea maximă a armonicii fundamentale de timp a intensității cîmpului magnetic;
h_b — lungimea liniei nn'm' din figura 1;
h_q — lungimea liniei mnn'm' din figura 1;
I — curentul din stator, valoare eficace;
I_{pd} — curent echivalent longitudinal (fig. 2), valoarea eficace;
I_{id} — curent echivalent longitudinal (fig. 2), valoarea eficace;
I_{pq} — curent echivalent transversal (fig. 3), valoarea eficace;
j $= \sqrt{-1}$;
k — coeficient din forma parabolică de exprimare pentru o curbă de magnetizare oarecare și care este dat de relația $k = \frac{4}{\pi} B_s$ pentru o curbă de magnetizare rectangulară;
k_d — raportul dintre amplitudinea armonicii fundamentale a inducției magnetice produse în întrefier de o t.m.m. longitudinală sinusoidal repartizată, întrefierul fiind cel real, și amplitudinea curbei inducției magnetice produse în întrefier de aceeași t.m.m. întrefierul fiind constant în lungul arcului polar și egal cu întrefierul echivalent din axa polului;
k_q — coeficient corespunzător axei transversale, analog lui k_d din axa longitudinală;
k_f — coeficient prin care se ține seamă la calculul parametrilor de efectul de capăt, se notează cu k_{fd} pentru axa longitudinală și cu k_{fq} pentru axa transversală;
k_n — coeficient din expresia modulului intensității cîmpului magnetic;
k_y — coeficient din expresia adîncimii de pătrundere;
k_{w1} — factorul de înfășurare al bobinajului statorului;
l_i — lungimea ideală a mașinii;
l_m — lungimea miezului polului;
l_p — lungimea piesei polare;
m — numărul de faze ale înfășurării statorului;
M — cuplul electromagnetic;
n — coeficient din forma parabolică de exprimare a curbei de magnetizare;
p — numărul de perechi de poli;
w_1 — numărul de spire pe fază a înfășurării statorului;
x, y, z — coordonatele sistemului de referință;
X_σ — reactanța de scăpări pe fază a înfășurării statorului;
X_{ad} — reactanța ciclică longitudinală a circuitului magnetizant;
X_{aq} — reactanța ciclică transversală a circuitului magnetizant;

$X_{\sigma p}$ — reactanța de scăpări dintre piesele polare vecine raportată la stator;
z_k — adîncimea pînă la care pătrunde cîmpul electromagnetic;
$\dot{Z}_f(s)$ — impedanța de dispersie a circuitului de excitație raportată la stator;
$\dot{Z}_{Dq}(s)$ — impedanța de dispersie transversală a amortizorului masiv raportată la stator;
$\dot{Z}_{id}(s)$ — impedanța de dispersie longitudinală corespunzătoare suprafeței interioare a piesei polarea miezului masiv al rotorului și jugului polar, raportată la stator;
$\dot{Z}_{pd}(s)$ — impedanța de dispersie longitudinală corespunzătoare suprafeței superioare a piesei polarea raportată la stator;
α — factorul de acoperire a pasului polar (paragraful 2); inversul adîncimii de pătrundere a cîmpului electromagnetic în rotor (paragraful 5);
α_0 — expresia adîncimii de pătrundere pentru înlocuirea $\mu_0\mu_r = l$;
β — coeficient din expresia mărimilor de stare ale cîmpului electromagnetic;
μ — permeabilitatea magnetică;
μ_0 — permeabilitatea vidului (constanta magnetică);
μ_e — permeabilitatea magnetică la suprafața oțelului;
ρ — rezistivitatea;
σ — conductivitatea electrică;
τ — pasul polar;
$\omega = 2\pi f$ — pulsația;
ψ — unghiul de defazaj dintre armonicile echivalente ale mărimilor $\dot{B}_m$ și $\dot{H}_m$.

Bibliografie

[1] *Gibbs, W. J.* Induction and Synchronous motors with unlaminated rotors. În: Proceedings, Institution of Electrical Engineers, **95** nr. 46, 1948, p. 411—420.
[2] *Balian, R. H.* K rascetu massivnovo rotora. În: Elektricestvo, **76**, nr. 6, 1955, 25—32.
[3] *Pik-Piciak, A. A.* K rascetu massivnovo rotora. În: Vestnik Elektropromîșlennosti, **30**, nr. 6, 1959, p. 36—44.
[4] *Postnikov, I. M.* Proektirovanie elektriceskih mașin. Kiev, Gosudarstvennoe izdatelstvo tehniceskoi literaturi, 1960.
[5] *Kucevalov, V. M.* Sinhronnie mașinî s masivnîmi poliusami. Riga, Izdatelstvo Akademii Nauk Latviiskoi SSR, 1965.
[6] *Nicolaide, A.* Caracteristicile de funcționare în asincron ale mașinilor sincrone cu poli aparenți masivi. În: Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnică, **15**, nr. 3, 1965, p. 663—689.
[7] *Nicolaide, A., Drăgănescu, O.* Caracteristicile de pornire ale motoarelor sincrone cu poli aparenți masivi. În: Electrotehnica, **11**, nr. 6, 1963, p. 215—223.
[8] *Nicolaide, A.* Calculul parametrilor amortizoarelor masive ale mașinilor sincrone cu poli aparenți. În: Electrotehnica **13**, nr. 5, 1965, p. 165—173.
[9] *Nicolaide, A.* Calculul parametrilor înfășurărilor de amortizare ale mașinilor sincrone cu poli aparenți. În: Electrotehnica, **11**, nr. 1, 1963, p. 1—10.
[10] *Neiman, L. R.* Poverhnostnîi effekt v ferromagnitnîh telah. Moscova, Gosenergoizdat, 1949.
[11] *Richter, R.* Mașini Electrice, vol. **II**, București, Editura Tehnică, 1959.
[12] *Kostenko, M. P.* Elektriceskie mașinî. Speșialnaia ciast. Moscova, Gosenergoizdat, 1949.
[13] *Bălă, C., Ghețaru, S.* Cîmpul magnetic alternativ tangențial în mediul feromagnetic. În: Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnică **15**, nr. 2, 1965, p. 267—292.
[14] *Bunea, V.* Soluționarea ecuațiilor lui Maxwell în medii conductoare liniare și feromagnetice. În: Electrotehnica **14**, nr. 10, 1966, p. 337—353.
[15] *Nicolaide, A.* Erwärmung massiver Läufer von Synchronmaschinen beim asynchronen Anlauf. În: Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ—A) Bd. **86**, H. 23, 1965, p. 760—762.
[16] *Nicolaide, A.* Studiul experimental al cîmpului electromagnetic în piesele polare masive ale mașinilor sincrone. În: Electrotehnica **17**, nr. 10, 1969.

Intrat în redacție la 11.II.1969.

Determinarea experimentală a unghiului intern la mașinile sincrone în orice regim de funcționare a acestora

POMPILIU OPRIȘAN * — București

CZ 621.317.65:621.313.322.016.352

Studiul proceselor electromagnetice și dinamice din mașina sincronă în regimuri tranzitorii sau cvasistaționare este indisolubil legat de posibilitatea măsurării sau înregistrării precise a unghiului intern al mașinii. Metodele existente actual care permit determinarea practică a unghiului intern al mașinii sincrone, sînt legate de o serie de inconveniente care restrîng mult domeniul lor de aplicabilitate, fie din cauza dificultăților care apar în realizarea unor montaje complicate, fie din cauza preciziei lor scăzute, fie din cauza imposibilității aplicării lor în anumite regimuri de funcționare.

Dintre metodele mai răspîndite se amintește:

a) metoda stroboscopică care constă în urmărirea vizuală a variației unghiului intern și aprecierea subiectivă a valorii sale maxime;

b) metoda oscilografului [1], care permite stabilirea valorii unghiului intern pe baza decalajului dintre curba tensiunii induse într-o bobină fixă cu miez de fier cu ajutorul unui magnet permanent fixat pe axul mașinii de studiat și curba tensiunii la borne, ambele curbe fiind înregistrate;

c) metoda wattmetrului [1], a cărei aplicare necesită o mașină auxiliară, valoarea unghiului intern rezultînd pe baza măsurării tensiunilor din înfășurările celor două mașini cuplate mecanic și a indicațiilor schimbului de putere dintre ele;

* Ing. *P. Oprișan* este cercetător principal la Institutul de energetică al Academiei.

d) metoda cu mașină auxiliară cuplată [1], avînd statorul mobil, alimentat direct de la tensiunea rețelei; fix, alimentat prin intermediul unui regulator de fază.

Stabilirea valorii unghiului intern al mașinii principale se face funcție de poziția statorului mașinii auxiliare, în primul caz, sau funcție de poziția rotorului regulatorului de fază în cel de-al doilea, cu condiția menținerii constante a curentului absorbit de instalația auxiliară la trecerea mașinii principale de la mersul în gol la sarcină;

e) metoda cu mașină auxiliară separată și circuit telefonic exterior; aprecierea unghiului intern al mașinii de studiat se face după decalajul unei perii de contact pentru restabilirea tonului în casca telefonică la încărcarea în sarcină a mașinii sincrone;

f) metoda cu contacte mecanice și impulsuri rectangulare de curent obținute cu ajutorul unui colector-invertor [2], care permite determinarea unghiului intern după valoarea medie a curentului măsurat cu un instrument magnetoelectric avînd în circuit un redresor sincron.

Dintre aceste metode, nici una nu permite determinarea cu precizie satisfăcătoare a unghiului intern în regimuri tranzitorii sau de sarcină variabilă sau chiar o astfel de determinare este imposibilă (c, d, e). Unele au caracter subiectiv, precizia fiind în mare măsură funcție de experiența personalului (a, c) sau sînt imprecise prin însăși natura lor, indicarea unghiului nefiind dată de variația liniară a vreunei mărimi (c, d, e). Sînt greoaie, necesită multe manevrări și multă experiență (b, c) sau după înregistrări necesită prelucrări suplimentare (b, c, f).

În cele ce urmează se prezintă un procedeu și dispozitiv care înlătură aceste dezavantaje și permite determinarea precisă și directă a unghiului intern în orice regim de funcționare a mașinii sincrone nefiind necesare prelucrări ulterioare ale rezultatelor obținute.

Schema de principiu

Schema de principiu a instalației este prezentată în figura 1.

Pe arborele mașinii sincrone *1*, a cărei comportare în regimuri cvasistaționare sau dinamice se studiază, se fixează un disc din material izolant (pertinax) *4* la periferia căruia se aplică un fir din material rezistiv (Cr Ni) *7* alimentat prin două puncte diametral opuse, de la o sursă de curent continuu *8*.

În cazul realizat și experimentat, ca sursă de curent continuu s-a folosit o baterie de iluminat introdusă într-o casetă rigidă în raport cu discul. Un motor auxiliar de mică putere *2*, alimentat de la aceeași rețea și avînd același număr de poli ca și mașina sincronă principală, antrenează un sistem de perii elastice *9* care calcă pe firul rezistiv. Tensiunea culeasă de perii este adusă la inelele de contact *6* și apoi măsurată cu ajutorul unui voltmetru sau oscilografiată. Motorul sincron auxiliar, în cazul de față un motor reactiv, se alimentează

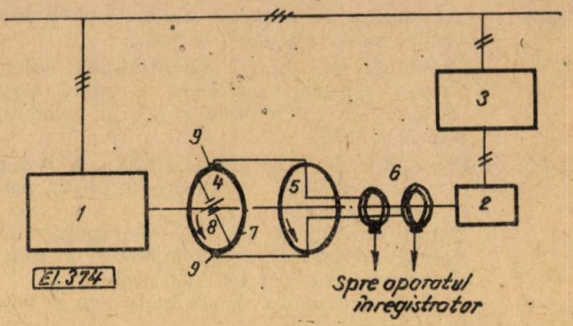


Fig. 1. Schema de principiu a instalației experimentale.

printr-un regulator de fază *3*, care permite aducerea la zero a instalației.

Principiul de funcționare

La mersul în gol al mașinii sincrone de studiat pentru care unghiul intern este practic nul se fixează poziția rotorului mașinii auxiliare cu ajutorul regulatorului de fază, astfel încît tensiunea culeasă de cele două perii de pe firul rezistiv să fie nulă. La o încărcare în sarcină activă a mașinii sincrone principale rotorul acesteia se decalează cu un anumit unghi față de cîmpul învîrtitor și respectiv față de rotorul mașinii auxiliare a cărui poziție rămîne fixă în raport cu cîmpul învîrtitor al mașinii de studiat. Aceasta se traduce printr-o decalare a periilor pe disc față de poziția inițială pentru care tensiunea culeasă era nulă astfel încît între perii apare o diferență de potențial a cărei valoare va depinde liniar de unghiul intern al mașinii.

Pentru regimul staționar și sarcină constantă unghiul intern poate fi citit direct pe un aparat indicator avînd linia de zero în centrul scalei deoarece tensiunea culeasă de perii își poate schimba semnul o dată cu schimbarea sensului de decalare a rotorului față de cîmp. Pentru cercetarea regimurilor dinamice unghiul intern se oscilografiază.

Reglarea și asigurarea unui contact perfect al periilor pe firul rezistent se realizează prin corectarea poziției motorului sincron auxiliar care este fixat pe un dispozitiv ce-i permite deplasarea după trei direcții.

Avantajele reale multiple ale instalației experimentale sînt următoarele:

— permite determinarea precisă a unghiului intern al mașinii sincrone în orice regim de funcționare a acesteia;

— asigură o mare precizie în determinări întrucît variația tensiunii culese la perii depinde liniar de variația unghiului intern;

— înregistrările nu au constantă de timp ceea ce asigură metodei calitatea redării exacte a valorii unghiului în regimuri dinamice rapide;

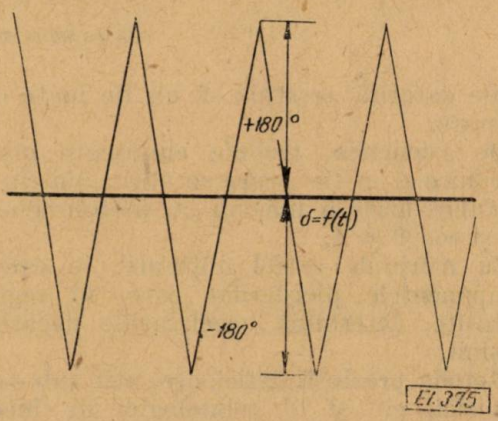


Fig. 2. Oscilograma unghiului intern la funcţionarea maşinii sincrone în regim asincron.

— înregistrările sînt continue şi nu necesită prelucrări ulterioare;

— permite înregistrări ale unghiului intern între — 180 şi +180 gr. el;

— dispozitivul este robust, simplu, uşor de manevrat şi s-a dovedit că are performanţe deosebite pentru cercetări experimentale.

În figura 2 se prezintă oscilograma unghiului intern al maşinii sincrone funcţionînd în regim asincron. Curba de variaţie a unghiului între limitele ±180 grade, specifică acestui regim, serveşte drept etalon pentru variaţia unghiului intern în regimurile dinamice studiate.

Oscilograma regimului cu pendulaţii întreţinute (fig. 3), prezintă variaţia curentului

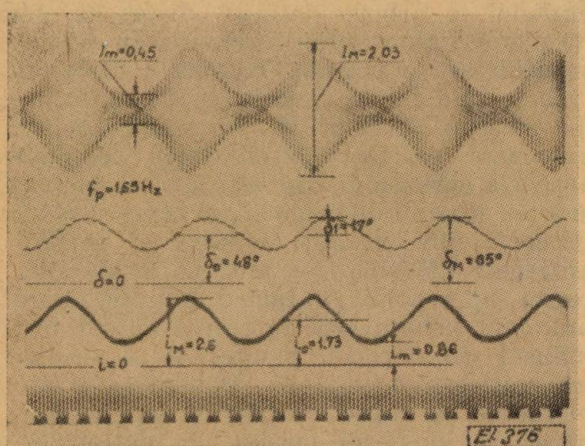


Fig. 3. Oscilograma curentului din stator, unghiului intern şi curentului de excitaţie la funcţionarea maşinii sincrone în regim de pendulaţii întreţinute.

prin indus I, a unghiului intern $\delta = \delta_0 + \delta_1 \sin \Omega pt$ şi a curentului de excitaţie $i = i_0 + i_1(t)$; δ_0 şi i_0 reprezintă valorile medii ale celor doi parametri, δ_1 este amplitudinea de pendulare a rotorului cu pulsaţia Ω_p iar $i_1(t)$ reprezintă componenta variabilă a curentului de excitaţie care apare în regimul pendular. Pe oscilogramă sînt marcate valorile maxime şi minime ale parametrilor respectivi.

Figura 4 ilustrează procesul de rostogolire a rotorului la căderea maşinii sincrone din sincronism. Datorită creşterii sarcinii peste valoarea admisibilă, $I = 1{,}94$ u.r., roata polară se deplasează faţă de cîmpul învîrtitor statoric determinînd variaţia unghiului intern δ între limitele maxime posibile. În aceeaşi oscilogramă este prezentată variaţia curentului din indus I şi a puterii active Pab absorbită din sistem, maşina sincronă funcţionînd în regim de motor.

Oscilogramele evidenţiază aplicabilitatea şi avantajele noului procedeu de determinare a valorii unghiului intern al maşinii sincrone, a cărui înregistrare continuă şi nedeformată nu

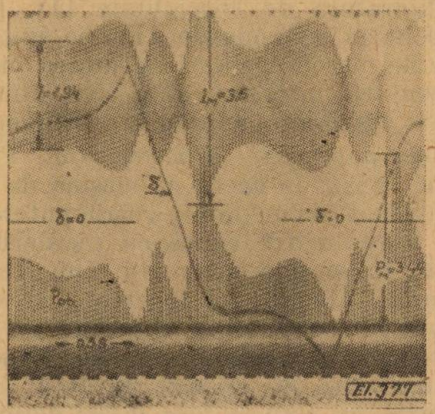


Fig. 4. Oscilograma curentului din stator, unghiului intern şi puterii schimbate de maşina sincronă cu reţeaua la căderea din sincronism.

necesită prelucrări ulterioare, permiţînd observaţii directe asupra comportării dinamice a maşinii.

Concluzii

Determinarea valorii exacte a unghiului intern şi stabilirea legii sale de variaţie în orice regim de funcţionare a maşinii sincrone, prin înregistrare continuă, constituie performanţe nerealizate pînă în prezent. Înlăturînd dificultăţile metodelor cunoscute actual, instalaţia experimentală se dovedeşte a fi un instrument util în cercetarea şi urmărirea comportării maşinilor sincrone în regimuri dinamice, putînd satisface orice exigenţă.

Bibliografie

[1] *Richter, R.* Maşini electrice, vol. II, Bucureşti, Editura tehnică, 1959.

[2] *Bălă, C.* Metodă şi aparat pentru măsurarea unghiului interior la maşinile sincrone. Brevet de invenţie, OSI nr. 41276 din 3.10.1957.

[3] *Birgăuanu, M.* şi *Creţu, D.* Procedeu şi dispozitiv fără contacte mecanice de măsurare a unghiului intern la maşinile sincrone. Propunere de invenţie, OSI nr. 49993 din 10.07.1063.

Intrat în redacţie la 30.XII.1968

Metodă pentru măsurarea pierderilor maşinilor electrice

OVIDIU DRĂGĂNESCU * — Craiova

CZ 681.317.43 : 621.313.017

1. Prezentarea metodelor existente

Diversele genuri de pierderi ale maşinilor electrice (suplimentare, mecanice, în fier) reprezintă cîteva procente din puterea utilă a maşinii. Valoarea lor trebuie cunoscută cu precizie corespunzătoare, întrucît concură la determinarea randamentului, parametru important al maşinii electrice. Cunoaşterea precisă a valorii acestor pierderi este necesară şi pentru studiul profund al maşinii.

În literatura de specialitate [1], [2], [3], [4] precum şi în standarde şi norme, sînt indicate o serie de metode pentru măsurarea pierderilor suplimentare, mecanice şi în fier, dintre care, cele mai cunoscute, se dau în continuare.

Metoda antrenării cu motor tarat. Principiul metodei constă în aceea că maşina de încercat este antrenată cu un motor a cărui putere trebuie să fie aproximativ egală cu pierderile ce se măsoară în maşina încercată. Diferitele feluri de pierderi ale maşinii încercate, se obţin ca produsul dintre puterea absorbită de motorul de antrenare şi randamentul său. Metoda prezintă dezavantajul că este afectată de erorile impreciziei cu care se face însăşi determinarea randamentului motorului de antrenare precum şi de cele care apar la măsurarea puterii absorbite de acesta.

Metoda lansării. Se bazează pe faptul că variaţia vitezei unei maşini nealimentate şi neantrenate este direct proporţională cu pierderile ce cauzează frînarea sa. Principiul metodei constă deci în a determina aceste acceleraţii negative. Pentru exemplificare, se prezintă aplicarea metodei la maşini sincrone. Astfel, în scopul determinării acceleraţiilor negative la turaţia nominală, datorită diverselor genuri de pierderi, se măsoară timpul în care turaţia scade de la 1,1 n_N la 0,9 n_N corespunzător următoarelor regimuri:

— maşina neexcitată cu circuitul bobinajului indusului deschis;

— maşina cu bobinajul indusului deschis, excitată la un curent care determină la mers în gol şi frecvenţa nominală, tensiunea nominală la bornele maşinii;

— maşina cu bobinajul indusului scurtcircuitat, excitată la un curent care determină în indus curentul nominal.

La aceste probe, bobinajul inductorului se alimentează la o sursă separată pentru ca pierderile datorită acestuia să nu fie luate în considerare.

De asemenea, trebuie cunoscute pierderile mecanice şi în fier, care se obţin dintr-o probă de funcţionare a maşinii cu motor la mers în gol şi cos $\Phi = 1$.

Cu mărimile astfel obţinute, se calculează componentele pierderilor care, în regimurile amintite, determină acceleraţiile negative ale maşinii.

Metoda prezintă deficienţe, atît sub aspectul preciziei, cît şi al tehnologiei de încercare. Astfel, măsurarea vitezei de rotaţie la diverse intervale de timp este afectată de erori mari, motiv pentru care standardele recomandă efectuarea unui mare număr de lansări pentru acelaşi regim.

Din punct de vedere tehnologic, aducerea maşinii la turaţia de lansare este o problemă dificilă, care necesită utilaje speciale sau utilizarea unui motor auxiliar de antrenare, ceea ce impune să se ia în considerare şi influenţa sa asupra timpului de frînare. Aceasta înseamnă o mărire a numărului de probe şi totodată o micşorare a preciziei măsurării.

2. Prezentarea metodei propuse

Principiul metodei constă în aceea că maşina de încercat este antrenată cu o maşină ale cărei pierderi rămîn practic constante la variaţiile cuplului la arbore datorită diverselor genuri de pierderi ale maşinii încercate. În acest scop se utilizează o maşină sincronă a cărei putere trebuie să fie aproximativ egală cu a maşinii de încercat (Anexa I). Alegerea maşinii de antrenare se face astfel încît componenta activă a curentului corespunzătoare pierderilor ei şi ale maşinii de încercat, să reprezinte cîteva procente din curentul nominal al maşinii de antrenare. Maşina de antrenare lucrează în regim supraexcitat, la factor de putere aproape nul, fapt pentru care creşterea curentului din indusul său datorită pierderilor în maşina de încercat, este neglijabilă. Pentru acest motiv, pierderile în cupru, pierderile suplimentare şi pierderile în fierul maşinii de antrenare alimentată la tensiune şi frecvenţă constantă, rămîn constante la variaţii mici ale cuplului la arbore datorite pierderilor în maşina încercată. Întrucît componenta activă este mică, puterea absorbită de maşina de antrenare se măsoară obligatoriu cu wattmetre de cos $\Phi = 0{,}1$ sau mai mic. Bobinajul inductor al maşinii de antrenare se alimentează de la o sursă de tensiune separată.

* *O. Drăgănescu* este inginer principal la uzinele Electroputere — Craiova.

Pierderile studiate în mașina încercată se obțin ca diferența dintre puterea absorbită de mașina de antrenare, cînd în mașina încercată există pierderile considerate și puterea absorbită de mașina de antrenare, cînd în mașina încercată nu sînt pierderile considerate. Pentru exemplificare se prezintă aplicarea metodei propuse la determinarea pierderilor suplimentare, în fier și mecanice la o mașină sincronă.

Încercările se efectuează în patru etape.

1) Mașina de antrenare este adusă la regimul stabilit, adică funcționare supraexcitată la un curent apropiat de cel nominal și la o tensiune aproximativ egală cu cea nominală. În acest regim, puterea absorbită de la rețea va fi:

$$P_I = p_{FeI} + p_{mI} + p_{sI} + p_{CuI}, \qquad (1)$$

unde:

p_{FeI} sînt pierderile în fier în mașina de antrenare corespunzătoare tensiunii de alimentare *;

p_{mI} — pierderile mecanice ale mașinii de antrenare;

p_{sI} — pierderile suplimentare în mașina de antrenare;

p_{CuI} — pierderile Joule în indusul mașinii de antrenare.

2) Mașina de încercat se cuplează mecanic cu mașina de antrenare, respectînd condiția ca numărul de perechi de poli ai celor două mașini să fie egali pentru situația în care se dorește să se determine parametrii mașinii *II* corespunzător turației nominale. De asemenea, mașina de antrenare lucrează la aceleași valori ale tensiunii, frecvenței și curentului de excitație, ca în cazul *I*, iar mașina încercată are bobinajul inductor și indus nealimentate. Corespunzător acestui regim, mașina de antrenare va absorbi de la rețea puterea:

$$P_2 = p_{FeI} + p_{mI} + p_{CuI} + p_{sI} + p_{mII} \qquad (2)$$

unde:

p_{mII} sînt pierderile mecanice ale mașinii de încercat acoperite de puterea primită la arbore de la mașina de antrenare.

Relația (2) se mai poate scrie:

$$P_2 = P_1 + p_{mII}; \qquad (3)$$

deoarece, așa cum s-a arătat mai sus, pierderile în fier suplimentare și în cuplul mașinii de antrenare în acest regim au rămas practic egale cu cele din regimul de la punctul 1. În acest caz rezultă imediat pierderile mecanice ale mașinii încercate:

$$p_{mII} = P_2 - P_1. \qquad (4)$$

* cu indicele *I* se notează parametrii mașinii de antrenare iar cu indicele *II*, parametrii mașinii de încercat.

3) Mașina de antrenare funcționînd la aceiași parametri ca la regimul 1 și 2 antrenează mașina de încercat care are bobinajul inductorului alimentat de la sursa de tensiune separată, astfel încît la bornele bobinajului deschis al indusului, să se obțină tensiunea dorită.

Puterea absorbită de la rețea în acest regim, de mașina de antrenare, va fi:

$$P_3 = p_{FeI} + p_{mI} + p_{sI} + p_{CuI}\ p_{mII} + p_{FeII}, \qquad (5)$$

unde p_{FeII} sînt pierderile în fier în mașina *II*, corespunzătoare tensiunii la bornele indusului său.

În condițiile în care pierderile proprii mașinii *I* rămîn constante, ecuația (5) se poate scrie:

$$P_3 = P_2 + p_{FeII}. \qquad (6)$$

Rezultă imediat pierderile în fierul mașinii încercate:

$$p_{FeII} = P_3 - P_2. \qquad (7)$$

4) Mașina de antrenare funcționînd la aceiași parametri ca la regimul 1, 2, 3, antrenează mașina de încercat care are bobinajul inductorului alimentat la o sursă de tensiune separată, astfel încît în bobinajul indusului scurtcircuitat să ia naștere curentul dorit.

Puterea absorbită de mașina de antrenare de la rețea va fi:

$$P_4 = p_{FeI} + p_{mI} + p_{sI} + p_{CuI} + p_{mII} + p_{CuII} + p_{sII}. \qquad (8)$$

În condițiile rămînerii constante a pierderilor în mașina de antrenare, relația (8) se poate scrie:

$$P_4 = P_2 + p_{CuII} + p_{sII}, \qquad (9)$$

unde:

p_{sII} sînt pierderile suplimentare la scurtcircuitul din mașina *II*;

$p_{CuII} = 3\, r_{fII} I_{II}^2$ — pierderile Joule pe rezistența indusului mașinii *II*, măsurată în curent continuu;

r_f — rezistența unei faze a bobinajului indusului mașinii *II* măsurată în curent continuu.

Rezistența r_f a mașinii *II* se măsoară după efectuarea încercării conform regimului 4, sau se măsoară chiar în timpul efectuării încercării prin metode speciale.

În acest caz, relația (9) pusă sub forma:

$$p_{sII} = P_4 - P_2 - 3\, r_{fII} I_{II}^2, \qquad (10)$$

permite determinarea pierderilor suplimentare la scurtcircuit în mașina *II*.

Din cele prezentate rezultă clar că, utilizînd același montaj, pot fi determinate cele trei

componente ale pierderilor mașinii sincrone care în mod normal s-ar fi determinat prin mai multe probe și montaje diferite.

3. Calculul erorilor

Valorile parametrilor mașinilor electrice determinate experimental sînt afectate de erori. Analiza acestora impune în prealabil o clasificare după cauzele ce le produc. Din acest punct de vedere se pot distinge următoarele tipuri de erori:

— erori datorite metodei de determinare;
— erori datorite metodei de măsurare;
— erori datorite aparatelor de măsură.

Valoarea reală a unui parametru este cea care apare în regimul nominal de funcționare al mașinii. Metodele de determinare a parametrilor în regim nominal se consideră metode directe iar parametrii astfel obținuți nu sînt afectați de erorile denumite „de metoda de determinare". În general, sînt puțini parametrii care se determină în regimul nominal de funcționare, majoritatea determinîndu-se în regimuri indirecte. Valorile parametrilor în regimurile considerate sînt diferite de cele reale corespunzătoare regimului nominal. Ca atare, parametrii astfel obținuți sînt afectați de eroarea de „metodă de determinare".

Se va defini deci „eroarea de metodă de determinare", eroarea care se face atunci cînd parametrul nu se determină în regimul nominal, regim în care el are valoarea reală, ci într-un regim indirect corespunzător căruia parametrul are o altă valoare datorită însăși regimului artificial, în care este pus în evidență.

Spre exemplu, randamentul unei mașini poate fi determinat direct măsurînd puterea absorbită și cedată sau indirect măsurînd separat pierderile mașinii. În primul caz, parametrul studiat nu este afectat de eroarea datorită metodei de determinare, întrucît regimul în care se măsoară este cel nominal. În cel de al doilea caz, randamentul este afectat de acest gen de eroare, deoarece pierderile au valori diferite de cele reale, datorită regimului în care sînt puse în evidență.

Un parametru poate fi măsurat prin mai multe metode, fiecare dintre acestea diferind nu numai sub aspectul tehnologic, ci și al erorii pe care o produce. Acest gen de erori, care depind de metoda prin care este măsurat parametrul, se vor defini ca erori de metodă de măsurare.

Astfel, pierderile în fier pot fi măsurate prin metoda lansării, prin metoda motorului tarat, prin metoda propusă a antrenării cu mașină sincronă supraexcitată etc. Fiecare metodă se caracterizează prin valori diferite ale erorii care afectează mărimea măsurată.

Cel de al doilea grup de erori se consideră cel datorit aparatelor de măsură utilizate, precum și schemelor de conectare a acestora.

Metoda propusă este o metodă de măsurare. Erorile de metode de determinare fac subiectul unei lucrări ulterioare. În cadrul acestui articol vor fi analizate numai cele datorite metodei de măsurare și aparatelor de măsură.

Erorile datorite aparatelor de măsură. Erorile datorite aparatelor de măsură afectează valoarea măsurată a puterii absorbite de mașina de antrenare. Ele se datoresc transformatoarelor de curent, transformatoarelor de tensiune și wattmetrelor. Se poate considera că puterea măsurată în unul din regimuri poate fi pusă sub forma:

$$P_i = P_{ir} + \varepsilon P, \qquad (11)$$

unde:

P_{ir} este valoarea reală a puterii absorbite de motor;
εP — eroarea absolută care se face la măsurarea puterii datorită wattmetrelor și transformatoarelor de măsură;
i — indice care în cazul exemplificat anterior poate lua valori de la 1 la 4.

Termenul εP poate fi sub forma:

$$\varepsilon P = \varepsilon P_w + \varepsilon P_{TI} + \varepsilon P_{TT} + \varepsilon P_e, \qquad (12)$$

unde:

εP_w este eroarea datorită vattmetrelor;
εP_{TI} — eroarea absolută care se face la măsurarea puterii datorită erorii de unghi și de raport a transformatoarelor de curent;
εP_{TT} — eroarea absolută care se face la măsurarea puterii datorită erorii de unghi și de raport a transformatoarelor de tensiune;
εP_e — eroarea de citire a wattmetrelor.

Analizînd toate aceste genuri de erori care afectează valoarea măsurată a puterii, se ajunge la următoarele concluzii:

— eroarea εP_w datorită wattmetrelor poate fi corectată dacă se cunoaște curba de erori a acestor aparate. Pentru clasa de precizie a wattmetrelor, preconizate de metodă, spre a fi utilizate în montaj, însăși fabricile constructoare atașază curba erorilor. Deci, eroarea datorită wattmetrelor poate fi redusă făcînd corecturile corespunzătoare cu ajutorul curbei de erori a aparatului respectiv;

— eroarea εP_e are caracter subiectiv și depinde de calificarea personalului precum și de clasa de precizie a aparatului, în sensul că la aparatele de clasă de precizie bună, acul indicator este subțire și diviziunile scării trasate fin, permițînd o apreciere bună a submultiplilor de diviziune. Prezența oglinzii la scara acestui tip de aparate, permite de asemenea o diminuare a erorilor de paralaxă.

Specific metodei propuse este faptul că erorile de unghi și de raport ale transformatoarelor de curent și tensiune rămîn constante ca valoare și semn, deoarece, așa cum s-a arătat, tensiunea și curentul rămîn practic constante. Rămîn de asemenea constante și impedanțele de sarcină ale transformatoarelor de măsură. Conform acestei metode, un gen oarecare de pierderi se determină ca diferența puterilor absorbite în regimuri bine stabilite, adică:

$$p + \varepsilon p = P_{i+n} - P_i. \tag{13}$$

Ținînd seamă de relațiile (11) și (12), rezultă:

$$p + \varepsilon p = P_{(i+n)r} + \varepsilon P_{w(i+n)} + \varepsilon P_{c(i+n)} + \\ + \varepsilon P_{TI(i+n)} + \varepsilon P_{TT(i+n)} - P_{ir}\,\varepsilon P_{wi} - \varepsilon P_{ci} - \\ - \varepsilon P_{TIi} - \varepsilon P_{TTI}. \tag{14}$$

Erorile de raport și de unghi, conform celor analizate, fiind egale, rezultă că și erorile absolute care se fac la măsurarea puterii, datorită lor, rămîn practic constante și deci prin scădere se anulează. Ca urmare, eroarea absolută care afectează valoarea pierderilor obținute este: .

$$\varepsilon p = \varepsilon P_{w(i+n)} + \varepsilon P_{c(i+n)} - \varepsilon P_{wi} - \varepsilon P_{ci}. \tag{15}$$

Din cele arătate și aceste erori pot fi mult diminuate, astfel ca influența lor asupra pierderilor obținute să fie neglijabilă.

Prin condițiile impuse de metodă, ca valoarea componentei active a curentului absorbit de mașina de antrenare să fie mică, se realizează un raport convenabil între puterile absorbite de motor în diversele regimuri și diferențele lor. Astfel, eroarea relativă la valoarea pierderilor determinate este mică.

Erorile datorite metodei de măsurare. Eroarea de metodă de măsurare reprezintă variația pierderilor proprii mașinii de antrenare, în regimurile amintite, iar eroarea absolută este tocmai abaterea de la valoarea pierderilor pe care mașina de antrenare le are în regimul cînd la arbore cuplul rezistent este nul.

Cauzele care provoacă variația pierderilor proprii mașinii de antrenare sînt următoarele: mărirea curentului statoric datorită creșterii componentei sale active la apariția unui cuplu la arbore; creșterea rezistenței electrice a bobinajului statoric datorită încălzirii sale.

Corespunzător celor două genuri de abateri ale pierderilor mașinii de antrenare, se pot asocia două erori de metodă de măsurare:

ε_j — eroarea absolută de metodă corespunzătoare creșterii pierderilor în cuprul bobinajului indusului datorită creșterii curentului statorului;

ε_θ — eroarea absolută de metodă, corespunzătoare creșterii rezistenței bobinajului indusului datorită încălzirii sale.

Pentru calcularea erorii de metodă de măsurare ε_j, se procedează după cum se arată în continuare.

Se adoptă pentru mașina de antrenare regimul de lucru în care tensiunea de alimentare U și f.m.m. de excitație au valori constante. În acest caz, în situația în care cuplul la arbore este nul, curentul pe o fază poate fi pus sub forma:

$$I_{is}^2 = I_q^2 + I_p^2, \tag{16}$$

unde:

I_{is} este curentul în bobinajul indusului motorului de antrenare;
I_q — componenta reactivă a curentului I_{is};
I_p — componenta activă a curentului I_{is}.

Dacă la arborele motorului apare un cuplu rezistent, crește valoarea componentei active a curentului, componenta reactivă rămînînd practic constantă ca valoare. În acest caz, curentul din indusul motorului va fi:

$$I_{(i+n)s}^2 = I_q^2 + (I_p + \Delta I_p)^2. \tag{17}$$

Cele două componente ale curentului statoric determină pierderi Joule în bobinajul indusului. Înmulțind cu r_1 rezistența de fază a bobinajului indusului expresiile (16) și (17), se obține:

$$r_1 \cdot I_{is}^2 + r_1 I_q^2 + r_1 I_p^2, \tag{18}$$

$$r_1 \cdot I_{(i+n)s}^2 = r_1 I_q^2 + r_1 (I_p + \Delta I_p)^2. \tag{19}$$

Expresia (19) pune în evidență creșterea pierderilor Joule în bobinajul statorului datorită creșterii componentei active a curentului. Scăzînd din relația (19) relația (18), se obține această creștere a pierderilor, ceea ce reprezintă eroarea absolută datorită variației pierderilor Joule:

$$\varepsilon_j = r_1 I_{(i+n)s}^2 - r_1 I_{is}^2 + 2\, r_1 I_p \Delta I_p + r_1 \Delta I_p^2. \tag{20}$$

Se consideră că între componenta activă I_p și creșterea sa ΔI_p există relația:

$$\Delta I_p = \frac{I_p}{m}, \tag{21}$$

unde: m este un număr care arată de cîte ori $I_p > \Delta I_p$.

În acest caz, expresia erorii absolute va fi:

$$\varepsilon_j = r_1 I_p^2 \frac{2m + 1}{m^2}.$$

Din condițiile inițiale specifice metodei, componenta activă I_p a curentului din stator este mult mai mică decît curentul total I_s. Pentru valori mai mici ale lui I_p, în comparație cu I_s, cît și pentru creșteri mici ale lui I_p, în comparație cu I_s, se consideră că între I_p și I_s există relația:

$$I_s = N I_p. \tag{22}$$

Eroarea relativă în raport cu pierderile Joule datorite curentului total al indusului, va fi :

$$\varepsilon_{jr}\% = \frac{\varepsilon_j}{r_1 I_{is}^2} 100 = \frac{r_1 I_p^2 \dfrac{2m+1}{m^2}}{r_1 I_{is}^2}, \quad (23)$$

sau ținînd seamă de (22) rezultă :

$$\varepsilon_{jr}\% = \frac{2m+1}{m^2 N^2} 100. \quad (24)$$

Expresia erorii relative de metodă, datorită creșterii pierderilor prin efect Joule în bobinajul statorului, permite calculul acestei creșteri a pierderilor pentru diverse valori ale lui m și N.

În figura 1 sînt reprezentate funcțiile $\varepsilon_{jr}\% = f(m)$ pentru diverse valori ale lui N. Întrucît funcția $\varepsilon_{jr} = f(m)$ este independentă de parametrii mașinii de antrenare, reprezentarea sa grafică poate fi utilizată pentru orice caz. Din analiza curbelor funcției $\varepsilon_{jr} = f(m)$ rezultă că, pentru $m = 3$ și $N = 20$, eroarea relativă de metodă, ε_{jr}, ia valori mai mici de două procente la mie. Altfel spus, această eroare este sub 2 W la o mie de W pierderi în cupru.

Pierderile în bobinajul indusului la o mașină sincronă reprezintă, în general, 0,3—0,5 din

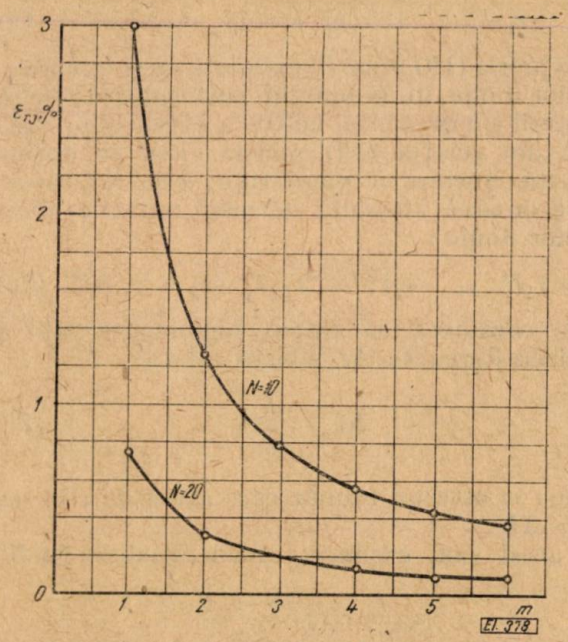


Fig. 1. Reprezentarea grafică a funcției $\varepsilon_{jr}\% = f(m)$ pentru diverse valori ale lui N.

suma pierderilor în fier, mecanice și de ventilație și în cuprul indusului. Ca atare, eroarea ε_j, reprezentată prin creșterea pierderilor proprii motorului de antrenare, în situația analizată, raportate la suma pierderilor mai sus amintite, este practic neglijabilă în cazul alegerii judicioase a raportului dintre componenta activă a curentului și curentul total al indusului.

În anexa 1, sînt prezentate rezultatele experimentale obținute cu metoda propusă.

Eroarea de metodă de măsurare datorită variației lui r_1, ca urmare a încălzirii bobinajului, poate fi eliminată dacă înaintea începerii probelor, mașina de antrenare este adusă la regimul termic stabilizat corespunzător parametrilor impuși de metodă.

4. Concluzii

Metoda propusă prezintă avantaje în raport cu metodele existente, atît în ceea ce privește precizia sa cît și din punctul de vedere al productivității și tehnologiei de încercare. Aceste avantaje cît și dezavantajele sînt rezumate în continuare :

— eroarea rezultantă este foarte mică pentru un regim bine ales ;

— dacă transformatoarele pentru măsurarea tensiunii și curentului se aleg astfel ca erorile de unghi să fie practic egale și să aibă același semn, influența grupei de erori datorită aparatelor de măsură se diminuează substanțial ;

— la mașinile de joasă tensiune înlocuirea transformatoarelor pentru măsurarea curentului cu șunturi neinductive contribuie de asemenea la diminuarea grupei de erori datorită aparatelor de măsură;

— erorile de metodă de măsură pot fi calculate, fapt ce permite efectuarea corecțiilor corespunzătoare asupra pierderilor determinate ;

— metoda poate fi utilizată pentru măsurarea pierderilor în fier, mecanice și suplimentare la mașinile sincrone, asincrone și de curent continuu, cu operativitate mărită și precizie ridicată ;

— metoda necesită o mașină sincronă cu o putere aproximativ egală cu a mașinii de încercat ;

— utilizarea metodei cu precădere pe standurile uzinelor constructoare de mașini este limitată de puterea reactivă a sursei ce alimentează mașina de antrenare I ;

— metoda impune utilizarea unor wattmetre speciale de $\cos\theta = 0{,}1$.

ANEXA I

Metoda prezentată s-a aplicat pentru determinarea pierderilor unei mașini sincrone cu parametrii :

$P = 630$ kW ; $\cos\theta = 0{,}9$; $U = 6$ kV ; $I = 71{,}6$ A ;

$n = 1\,000$ rot/min.

Pentru antrenare s-a folosit o mașină sincronă cu parametri identici.

Mărimile măsurate și calculate sînt trecute în tabela 1.

Tabela 1

Numărul încercării	Maşina de antrenare											Maşina încercată					
	U V	I_s A	P_i W	V_f W	p_j W	I_{ia} A	m –	N –	E_{jr} %	P_{ij} W	P_{ir} W	U U	I A		p_{j+v} W	p_{m+v} W	p_{Fe} W	p_s W
1	5400	70	25150	0,706	10370	2,7	–	38,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	5400	70	31650	0,706	10370	3,39	1,25	20,6	0,525	55	31595	0	0	–	–	6445	–	–
3	5400	70	39550	0,706	10370	4,23	1,57	16,5	0,615	64	39486	6000	0	0,644	–	–	7890	–
4	5400	70	43700	0,706	10370	4,67	1,735	15	0,66	68,5	43631	0	71,6	0,644	9900	–	–	2136

Componenta activă a curentului indusului maşinii de antrenare s-a calculat cu relaţia :

$$I_{ip} = \frac{P_i}{\sqrt{3}\,U}, \tag{1}$$

unde :

U este tensiunea la bornele maşinii de antrenare ;

p_i — puterea absorbită în regimul considerat.

Spre exemplificare este indicată desfăşurarea calculului pentru determinarea pierderilor mecanice şi de ventilaţie :

— componenta activă a curentului indusului maşinii de antrenare în regimul 2

$$I_{2p} = \frac{P_2}{\sqrt{3}\,U} = \frac{31\,650}{1{,}73\,5\,400} = 3{,}39 \text{ A} ; \tag{2}$$

— pierderile Joule în indusul maşinii de antrenare

$$p_j = 3\, r_f I_s^2 = 3 \cdot 0 \cdot 706\,70^2 = 10\,370 \text{ W} ; \tag{3}$$

— coeficientul m

$$m = \frac{I_{2p}}{I_{1p}} = \frac{3{,}39}{2{,}7} = 1{,}25 ; \tag{4}$$

— coeficientul N

$$N = \frac{I_s}{I_{2p}} = \frac{70}{3{,}39} = 20{,}6 ; \tag{5}$$

— eroarea relativă

$$\varepsilon_{jr}\% \frac{2m+1}{m^2 \cdot N^2} = \frac{3{,}5}{666}\,100 = 0{,}525 ; \tag{6}$$

— eroarea absolută

$$\Delta P_{2j} = \frac{\varepsilon_{rj}\% p_j}{100} = 55 \text{ W} ; \tag{7}$$

— valoarea conectată a puterii absorbite în regimul 2

$$P_{2r} = P_2 - \Delta P_{2j} = 31\,650 - 55 = 31\,595 \text{ W} ; \tag{8}$$

— valoarea pierderilor mecanice şi de ventilaţie

$$p_{m+v} = p_{2r} - P_1 = 31\,595 - 21\,150 = 6\,445 \text{ W}. \tag{9}$$

Procedînd în mod similar, s-au determinat toate pierderile maşinii încercate.

Bibliografie

[1] *Corlăţeanu, V.* şi *Bergman, I.* Curs de încercări de maşini electrice. Institutul politehnic Iaşi, 1958.

[2] *Richter, R.* Maşini electrice, vol. **IV**, Bucureşti, Editura tehnică, 1960.

[3] *Jerve, K. G.* Încercările industriale ale maşinilor electrice. Bucureşti, Editura tehnică, 1961.

[4] *Drăgănescu, G. O., Galbenu, Gh.* şi *Cîmpeanu, A.* Metode noi utilizate la încercarea maşinilor electrice. Colecţia Din experienţa uzinelor noastre. Institutul central de documentare tehnică — Bucureşti, 1966.

Solicitarea și nivelul de izolație al transformatoarelor și autotransformatoarelor de 400 kV

BALAZS MÁTHÉ * — București

CZ 621.314.222/223.046.81/82

Extinderea și modernizarea sistemelor electroenergetice implică trecerea treptată la tensiuni nominale foarte înalte, la 400, 500 și 750 kV, în majoritatea țărilor cu industrie dezvoltată. Această extindere a sistemului, în condițiile țării noastre, impune realizarea în viitorul apropiat a unor noi stații de transformare și de distribuție sau completarea celor existente cu echipamente electrice variate, printre care transformatoare și autotransformatoare de mare putere, având tensiunea de serviciu 400 kV.

Trecerea la o clasă superioară de izolație, în fabricarea și exploatarea echipamentului electric, ridică o serie de probleme, referitoare la izolația transformatoarelor și autotransformatoarelor, de al căror mod de rezolvare depinde eficiența tehnică și economică a acțiunii de extindere și modernizare a sistemului electroenergetic din Republica Socialistă România în viitorul apropiat.

1. Solicitarea izolației transformatoarelor și autotransformatoarelor de 400 kV în exploatare și principalele condiții impuse

Izolația externă și internă a transformatoarelor și autotransformatoarelor în exploatare este solicitată *electric* (datorită creșterii tensiunii de frecvență industrială și supratensiunilor) *mecanic* (datorită unor solicitări electrodinamice și unor forțe portante statice sau dinamice care se transmit izolației), *chimic* (datorită efectului oxidant al uleiului sau depunerilor chimic-active pe suprafețele trecerilor izolante), *termic*, (datorită încălzirii locale sau radiațiilor solare etc.

Solicitarea cea mai importantă a izolației transformatoarelor și autotransformatoarelor este cea electrică.

În cele ce urmează, se analizează diferitele feluri de manifestare a acestei solicitări în exploatare și procedeele aplicate în sistemele electroenergetice moderne pentru limitarea lor la valori convenabile din punct de vedere tehnic și economic.

1.1. Tensiune maximă de serviciu într-o rețea de 400 (respectiv 380 kV), este impusă prin norme (STAS, VDE etc.) și recomandări CEI. Această valoare a tensiunii trebuie să fie asigurată prin echipamentul ales și dimensionat corespunzător, al centralelor și stațiilor electrice (regulatoare automate ale generatoarelor, comutatoare sub sarcină a transformatorelor, schemă de protecție și automatizare etc.) și prin simetrizarea fazelor. Datorită acestor măsuri rezultă următoarele solicitări de lungă durată ale izolației transformatoarelor și autotransformatoarelor de 400 kV, ținînd seamă de numerotația din figura 1:

— izolația între faze (1 și 2, dar în special 1·2 și 2.3) 420 kV_{ef}, 590 kV_{max};

— izolația între fază (borne) și masă (1 și 2, dar în special 1.1 și 2.1), $\frac{420}{\sqrt{3}} = 243$ kV_{ef}, 343 kV_{max}.

Fiind de durată nelimitată această formă de solicitare prezintă pericol mare pentru izolația solidă a transformatoarelor sau pentru regiuni din izolația hîrtie-ulei sau cu bariere de ulei a acestora, unde circulația uleiului este împiedicată (de exemplu la capete de înfășurare în zona șaibelor unghiulare). În cazul dimensionării eronate sau a construcției neadecvate, acest gen de solicitare îndelungată poate să ducă la „străpungerea termică" a izolației respective neomogene, datorită căldurii excesive degajate în dielectric, proporționale cu pătratul tensiunii aplicate.

Nivelul tensiunii la care se declanșează fenomenul de străpungere termică a izolației este determinat de proprietățile și dimensiunile materialelor izolante folosite și de temperatura de regim (inițială) a izolației în locul respectiv. Dacă ansamblul izolației considerate din construcția transformatorului sau autotransformatorului se va găsi în condiții de răcire corespunzătoare (temperatura de regim nu atinge valoarea ei critică la 420 kV) atunci fenomenul de străpungere termică a izolației respective se elimină automat [1].

1.2. Creșteri de tensiune de frecvență industrială („supratensiuni dinamice"). Creșterile de tensiune de frecvență industrială (50 Hz sau frecvență apropiată de aceasta) pot atinge valori periculoase în rețelele de 400 kV, în general, și în rețelele de 400 kV în curs de dezvoltare (ca de exemplu în rețeaua de 400 kV a R.S.R.) cu puteri de scurtcircuit mici, în special. Aceste creșteri de tensiune pe durată finită au loc, în sistemul electroenergetic, în următoarele cazuri de importanță practică mai însemnată [2], [3], [4]:

* Dr. ing. *B. Máthé* este șef secție T.T.I. la ICENERG — București

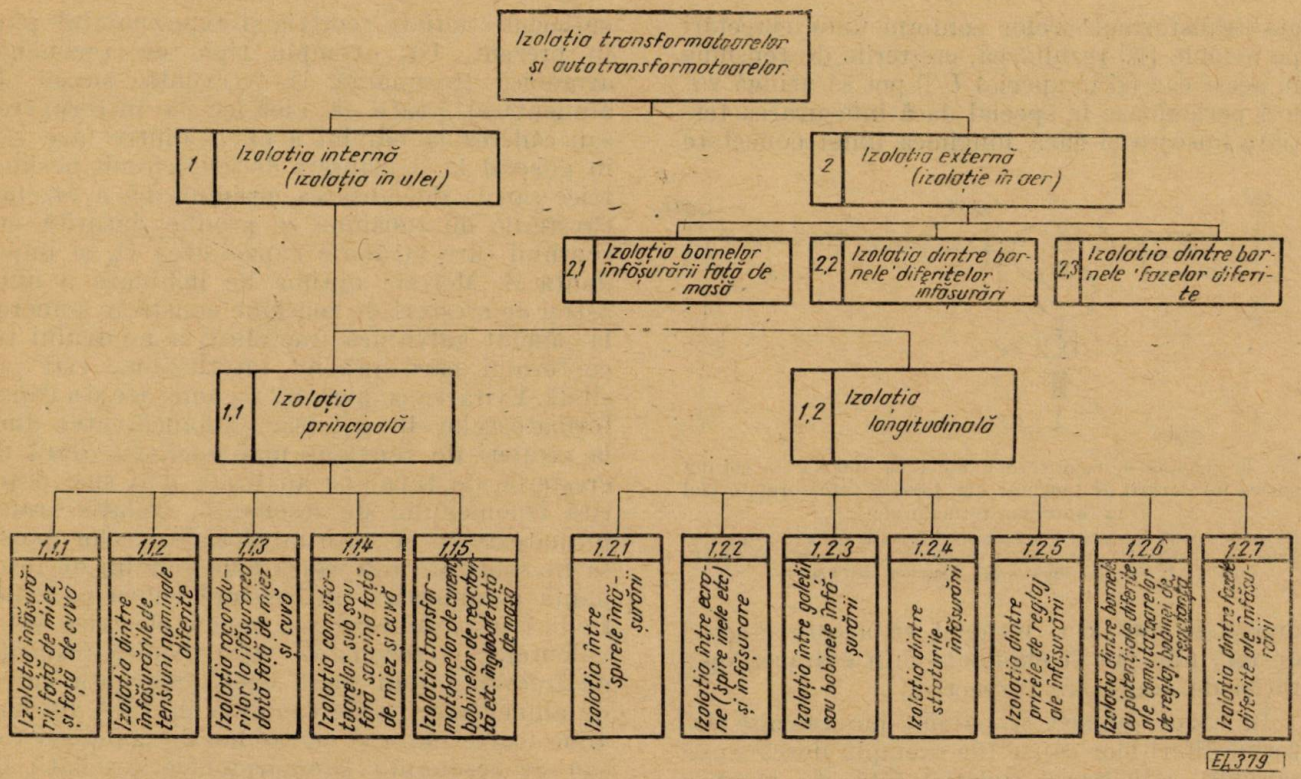


Fig. 1. Structura izolației transformatoarelor și autotransformatoarelor moderne de înaltă tensiune și mare putere.

—la descărcarea automată a sarcinii (fig. 2);

— la conectarea liniilor de 400 kV în gol din partea înfășurării de joasă tensiune a transformatoarelor (fig. 3);

— la asimetrizarea considerabilă a încărcării fazelor (inclusiv în cazul punerii la pământ a unei faze sau în cazul conectării monofazate a întreruptoarelor);

— datorită unor fenomene de rezonanță parametrică sau armonică din sistem, dar de frecvență joasă și de durată relativ mare (de exemplu fig. 4).

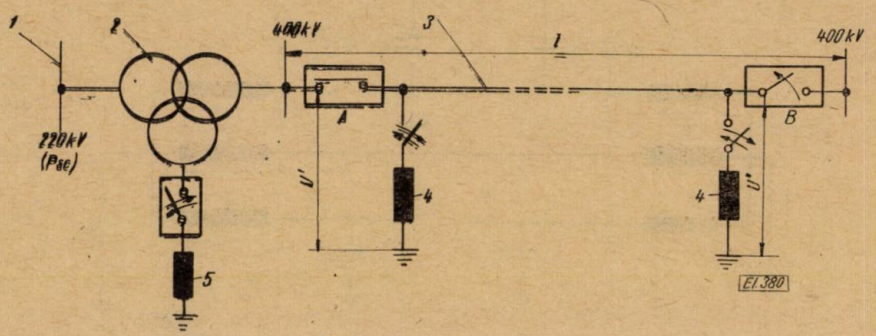


Fig. 2. Schema de conexiuni în condițiile căreia apar creșteri de tensiune de frecvență industrială la capătul liniei de 400 kV la descărcarea sarcinii:

1 — barele sursei (sistemului) de alimentare (bare de 220 kV avînd o putere de scurtcircuit *Psc*) a liniei de 400 kV; 2 — transformator (sau autotransformator) ridicător, de 400 kV; 3 — linie de 400 kV; 4 — bobine de compensație; 5 — sarcina (încărcarea) înfășurării terțiare.

Creșterile de tensiune U' și U'' (fig. 2) care iau naștere datorită descărcării sarcinii depind de modul de compensare a energiei respective a liniilor, de lungimea liniilor și de puterea de scurtcircuit a sursei de alimentare. Creșterea de tensiune U' este mai mică (cu circa 20% față de U''. Ea are valori tolerabile (creștere de 20-40% față de valorile indicate la punctul 1.1) dacă lungimea liniei nu atinge 400 km, dacă puterea de scurtcircuit a barelor de alimentare depășește 6 GVA și dacă se compensează prin bobine de reactanță corespunzătoare cel puțin 25% din puterea reactivă a liniei [2]. Creșterile de tensiune nedorite în acest caz se limitează prin succesiunea corectă de funcționare a celor două întreruptoare de la capetele liniei (întreruptorul *A* se deconectează practic simultan cu întreruptorul prin care se descarcă sarcina, anticipînd cu cîteva semiperioade deconectarea întreruptorului *B*), prin conectarea directă sau automată a bobinei de compensație pe linie (sincronizat cu întreruptorul de descărcare a sarcinii sau conectat prin amorsarea unor eclatoare), prin încărcarea corespunzătoare a înfășurării terțiale etc.

La conectarea liniilor în gol de 400 kV din partea înfășurării de tensiune mai joasă (de exemplu de 220 kV) a transformatoarelor sau

autotransformatoarelor conform unor cercetări pe modele [5] rezultă că, creșterile de tensiune în acest caz (și în special U'') pot să atingă valori periculoase în special dacă înfășurarea terțiară lipsește și dacă lungimea liniei conectate

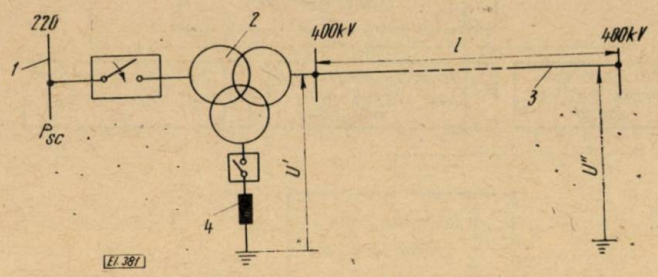


Fig. 3. Schema de conectare a liniei de 400 kV în gol din partea înfășurării de tensiune mai joasă a transformatorului (sau autotransformatorului):

1 — barele sursei (sistemului) de alimentare a liniei de 400 kV; 2 — transformator sau autotransformator ridicător de 400/220 kV; 3 — linia de 400 kV; 4 — sarcina (încărcarea) înfășurării terțiare.

depășește 400 km. Evident că aceste creșteri de tensiune pot fi eliminate prin evitarea operației de conectare respective.

În cazul punerii la pămînt monofazate datorită diferitelor cauze (de exemplu descărcarea sarcinii) solicitarea izolației față de masă a transformatoarelor și autotransformatoarelor crește considerabil în comparație cu regimul de funcționare simetric. Creșterea de tensiune depinde de eficiența punerii la pămînt a neutrului, de ponderea impedanței homopolare echivalente a schemei (ținînd seamă și de reac-

suficient studiate teoretic și experimental pînă în prezent. Un exemplu tipic de rezonanță armonică (rezonanță la frecvența sursei de alimentare) poate să aibă loc la întreruperea sau căderea la pămînt a uneia dintre faze sau în general la declanșări de scurtcircuit nesimetrice sau la declanșarea nesimultană a fazelor. Creșterile de tensiune se produc datorită curentului care străbate capacitatea C_0 și impedanța Z. Metoda optimă de lichidare a unor astfel de creșteri de tensiune constă în punerea la pămînt galvanică (metalică) a neutrului receptorului, care însă nu întotdeauna este posibilă. Evitarea comenzilor monofazate și a transformatoarelor în gol (sau subîncărcate) duce la creșteri de tensiune mai mici. În afară de creșterile de tensiune analizate mai sus, datorită fenomenului de rezonanță, izolația transformatoarelor și autotransformatoarelor poate să fie solicitată din cauza fenomenului de rezonanță parametrică (în legătură cu variația periodică a parametrilor schemei electrice echivalente), de rezonanță subarmonică (oscilații de frecvență mai joasă decît frecvența sursei de alimentare, ca de exemplu în LEA de lungime foarte mare și cu bobine de compensație) sau de rezonanță supraarmonică (oscilații de frecvență mai înalte decît frecvența sursei de alimentare sau oscilații la armonici superioare, ca de exemplu în cazul modificărilor produse de redresoare în regimul armonic al rețelei). O mare parte din acestea se raportează însă la supratensiunile interne.

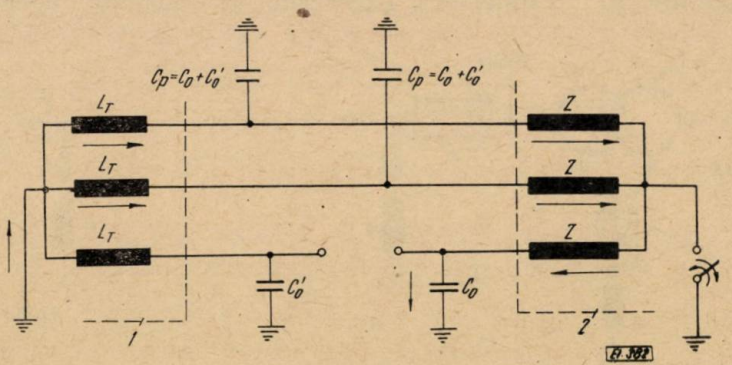


Fig. 4. Schema de întrerupere a unei faze (sau a declanșării nesimetrice în general) în cazul căreia pot să apară creșteri de tensiune datorită fenomenului de rezonanță armonică:

1 — transformator de alimentare; 2 — receptor cu impedanța Z (de exemplu un transformator coborîtor în gol sau subîncărcat).

tanța homopolară a bobinei de compensație care depinde de lungimea liniei). În cazul conectării monofazate a liniei în gol fenomenul de creștere a tensiunii fazelor față de masă este similar, impedanța homopolară jucînd și în acest caz rolul principal. Limitarea acestor solicitări de izolație la valori acceptabile se poate realiza prin punerea la pămînt mai eficientă a rețelei, prin micșorarea impedanței homopolare și prin evitarea operațiilor de conectare monofazată a liniilor (prin comanda trifazată a întreruptoarelor).

Creșterile de tensiune datorită unor fenomene de rezonanță în sistem sînt foarte variate, in-

Din considerentele de mai sus și din datele orientative ale literaturii de specialitate [2], [3], [4], [5], [6], se pot asigura, prin limitarea lor de nivele raționale, următoarele solicitări ale izolației transformatoarelor și autotransformatoarelor din rețelele de 400 kV ale țării noastre:

— izolația între faze (1 și 2 dar în special 1.1; 1.2 și 2.3), $660 \div 830$ kV_{max};

— izolația între fază (bornă de 400 kV) și masă (1.1 și 2.1 dar în special 1. 1.3; 1,1.5), $380 \div 480$ kV_{max}.

Printr-o concepție corespunzătoare a configurației rețelei, printr-un program adecvat de

comutaţii în sistem şi printr-o raţională coordonare a schemei de protecţie şi automatizări din staţii durata acestor creşteri de tensiune poate să fie limitată la 0,1÷0,5 s [2]. Limitarea duratei acestor supratensiuni este deosebit de importantă în special pentru izolaţia externă care funcţionează în zone de contaminare intensă.

1.3. Supratensiuni interne. Supratensiunile interne (sau supratensiuni interne tranzitorii) care însoţesc variaţiile rapide ale parametrilor (sau stării) circuitelor electrice în reţelele de 400 kV (cu neutrul pus efectiv la pămînt) sînt determinate de următorii factori principali :

— felul întreruptorului (întreruptor cu sau fără rezistenţă de şuntare a camerelor de stingere, întreruptor cu sau fără reamorsarea arcului electric, întreruptor cu variaţia curentului postarc favorabilă etc.) utilizat ;

— regimul (felul) comutaţiei (conectare, deconectare, cicluri etc.) ;

— configuraţia şi parametrii reţelei.

Cele mai importante şi cele mai frecvente supratensiuni sînt cele de comutaţie (supratensiuni de conectare şi de deconectare), care reprezintă principala solicitare a izolaţiei transformatoarelor şi autotransformatoarelor de 400 kV şi în special a supratensiunilor de conectare şi de reanclanşare a liniilor în gol, cu sau fără sarcină electrică remanentă şi cu sau fără transformator la capătul liniei, conform figurii 5. Supratensiunile de deconectare a liniilor în gol cu un factor de multiplicitate foarte mare (4÷5 conform schemei din figurii 6, devenite clasic) nu trebuie să fie luate în considerare la 400 kV, deoarece la această tensiune nominală nu se mai practică întreruptoare învechite cu reamorsarea arcului electric ca la 110 kV (de exemplu tipurile VEL, VEZL, IUP), nici pe plan mondial, nici pe plan republican. Totuşi în condiţiile utilizării unor întreruptoare moderne, dar cu reaprinderea arcului electric (ca la tipul 10), supratensiunile de deconectare pot să joace un rol important în special la tensiuni de serviciu mai mari (factorul de multiplicitate 1,9 — 2,3).

Dintre toţi factorii care influenţează nivelul maxim şi panta de creştere a acestor genuri de supratensiuni cei mai importanţi sînt în legătură cu întreruptorul, cu ajutorul căruia factorul de multiplicitate al supratensiunilor de comutaţie poate fi redus de la 3—3,5 la 1,5—1,8 chiar la întreruptoare de ulei puţin [7], adică la valori convenabile. În afară de acestea, supratensiunile interne pot fi limitate prin descărcătoare cu rezistenţe variabile şi stingerea magnetică a curentului de însoţire (descărcătoare combinate), acoperind în felul acesta şi eventuala dispersie statistică a altor metode de limitare a supratensiunilor de acest gen (cel puţin în apropierea descărcătorului), ca de exemplu a metodelor de limitare a supratensiunilor interne prin alegerea optimă a schemei de conexiuni sau a elementelor din schemă şi prin programarea raţională a funcţionării schemei de automatizare a reţelei (prin măsuri luate pe linie de PRAM) respective şi a reţelelor interconectate.

Din cele de mai sus şi din datele literaturii de specialitate rezultă că în acest regim de exploatare izolaţia externă şi internă a transformatoarelor şi autotransformatoarelor este solicitată (în condiţiile limitării lor cu descărcătoare şi întreruptoare) cu următoarele tensiuni de referinţă (de calcul) :

— între faze (1 şi 2) dar în special 1.1.4 ; 1.2.7 şi 2.3), 900—1 150 kV_{max} ;

— între faze (borne) şi masă (1 şi 2 dar în special 1.1.3 ; 1.1.4 ; 1.1.5 ; 1.2.6 ; 2.1). 600—780 kV_{max}.

Durata acestui gen de solicitare a izolaţiei transformatoarelor şi autotransformatoarelor variază între limitele 100 şi 5 000 μs. Deoarece proba clasică de 50 Hz şi de 1 min nu acoperă această solicitare a izolaţiei din exploatare (în anunite cazuri [3] în special izolaţia externă poate să contureze la valori inferioare de vîrf a supratensiunilor interne decît valoarea de vîrf a tensiunii distructive de 50 Hz a intervalului considerat), şi în general fiind greu realizabilă la majoritatea covîrşitoare a transformatoarelor şi autotransformatoarelor (datorită gradării izolaţiei pentru potenţializarea corectă a neutrului şi a bornelor sînt necesare scheme şi transformatoare auxiliare) pe plan mondial este în curs ce elaborare o metodă nouă, mai

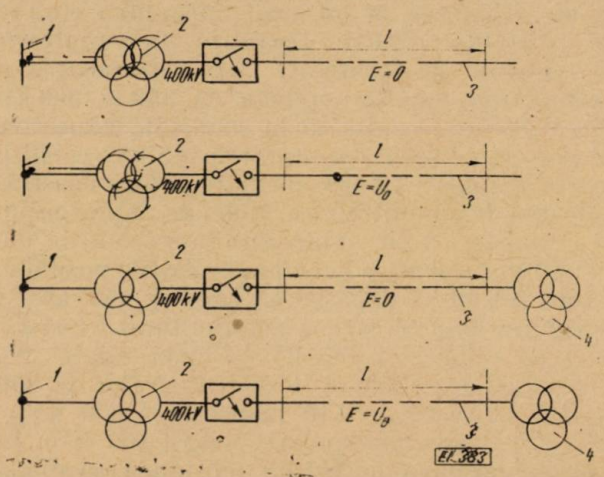


Fig. 5. Schema echivalentă de producere a supratensiunilor de conectare a liniilor în gol :

1 — bare de alimentare a transformatorului ; 2 — transformator ridicător de 400 kV ; 3 — linia în gol cu sau fără tensiune remanentă, cu sau fără transformator la capăt ; 4 — transformator coboritor de 400 kV.

adecvată, de încercare a izolaţiei echipamentului electric de înaltă tensiune : metoda încercării cu unde de impuls aperiodice lungi sau metoda undelor de supratensiune de comutaţie. Cercetînd, experimental şi în diferite labora-

toare, „sensibilitatea" diverselor configurații de electrozi (subansamble de izolație) față de unde aperiodice lungi s-a ajuns la concluzia că durata critică a frontului undei (supratensiune internă, cea mai periculoasă pentru izolație) este cuprinsă între 100 și 300μs. Durata de semiamplitudine nu are o influență așa categorică asupra fenomenului de străpungere a izolației și poate să varieze în limite mai largi, de exemplu între 1 000 și 5 000μs.

1.4. Supratensiuni externe. Datorită loviturilor de trăznet direct în conductoarele LEA, în cazul unghiului de protecție necorespunzător al liniei de gardă (ales fără considerarea înălțimii de la sol, stabilit pe baza unor calcule imprecise și nu pe baza experienței de laborator etc.), unda de implus incidentă în stația de transformare—distribuție poate să atingă valori periculoase ale izolației. Cercetările cele mai recente dovedesc că și lovitura inversă, în stîlpii LEA, datorită inductanței conductorului de coborîre și a inductanței instalației de punere la pămînt poate să atingă valori la fel de periculoase, în special dacă panta curentului de trăznet este mare. Aceste supratensiuni însă, în stația electrică, pot fi limitate la valori convenabile prin descărcătoare obișnuite, prin alegerea corespunzătoare a nivelului de protecție al acestora. Supratensiunea externă (de origine atmosferică), care solicită izolația transformatoarelor și autotransformatoarelor din stații, este în funcție de mijloacele de protecție și schema de protecție practicată, de particularitățile constructive (reacția transformatorului sau autotransformatorului) considerat (înfășurarea rezonantă sau antirezonantă, cu intrare la un capăt sau la mijlocul înfășurării etc.) și de distanța dintre aparatul de protecție și obiectul de protejat. Din interpolarea și extraplarea datelor rețelelor de 350 și 500 kV din U.R.S.S., rezultă că în condițiile respective de protecție împotriva supratensiunilor (condiții foarte apropiate cu cele întîlnite în țara noastră) valoarea de amplitudine a undei de supratensiune atmosferică din exploatare în rețelele de 400 kV (ținînd seamă și de supraoscilațiile posibile), nu ar trebui să depășească circa 1 150 kV_{max}, tensiunea de încercare a izolației fiind 1 255 kV la undă plină și 1 355 kV la undă tăiată [8]. Tensiunea reziduală a descărcătoarelor de 330 și 500 kV este de 740 respectiv 1 070 kV_{max} (875 kV_{max} prin interpolare pentru 400 kV). În rețelele germane de 380 kV tensiunea reziduală a descărcătoarelor la un curent de impuls de 10 kA, 8/20 μs este 1 020 kV [9].

Este evident că în final aceste nivele pentru condițiile concrete ale sistemului electroenergetic din țara noastră trebuie să rezulte în mod obligatoriu pe baza unor experimentări proprii.

În multe țări (ca de exemplu în S.U.A.) se practică nivele de protecție mult reduse și bineînțeles aparatura și scheme de protecție corespunzătoare.

În condițiile sistemului energetic de la noi, solicitările izolației transformatoarelor și auto-

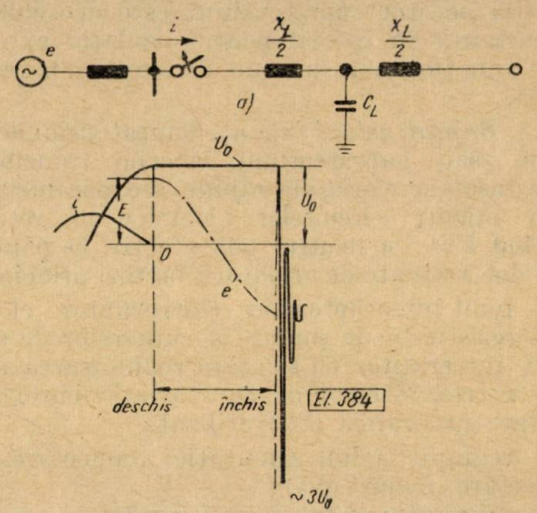
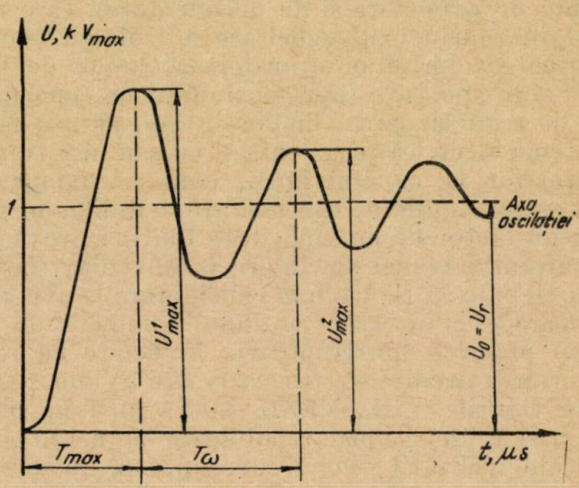


Fig. 6. Deconectarea liniei în gol sau a bateriei de condensatoare în condițiile reamorsării arcului electric: *a* – schema echivalentă a rețelei; *b* – fenomenul tranzitoriu.



Mărimea caracteristică	Tensiunea nominală a transformatorului		
	330 kV	500 kV	400 kV
U'_{max}, kV_{max}	1100	1500	1200
U^2_{max}, kV_{max}	730	1170	850
U_0, kV_{max}	600	1000	725
T_{max}, μs	2,4	3,2	3
T_ω, μs	3,1	4	3,3

El 385

Fig. 7. Forma undelor de impuls tipice din exploatare care solicită izolația transformatoarelor de 330 și 500 kV din sistemul electroenergetic sovietic și valorile interpolate care rezultă pentru 400 kV (conform tabelei).

transformatoarelor de 400 kV prin supratensiuni externe pot fi limitate fără cheltuieli excesive la următoarele valori:

—izolația între faze (1 și 2 dar în special 1.1.2; 1.1.4; 1.2 și 2.3), 1 150—1 300 kV_{max};

— izolația între fază (bornă) și masă (1 dar în special 1.2) 850—1 000 kV_{max}.

Forma acestor solicitări din exploatare se caracterizează prin mai multe mărimi indicate în figura 7.

Creșterile de tensiune (supratensiunile dinamice) și supratensiunile analizate mai sus de diverse amplitudini și durate (fig. 8) au pro-

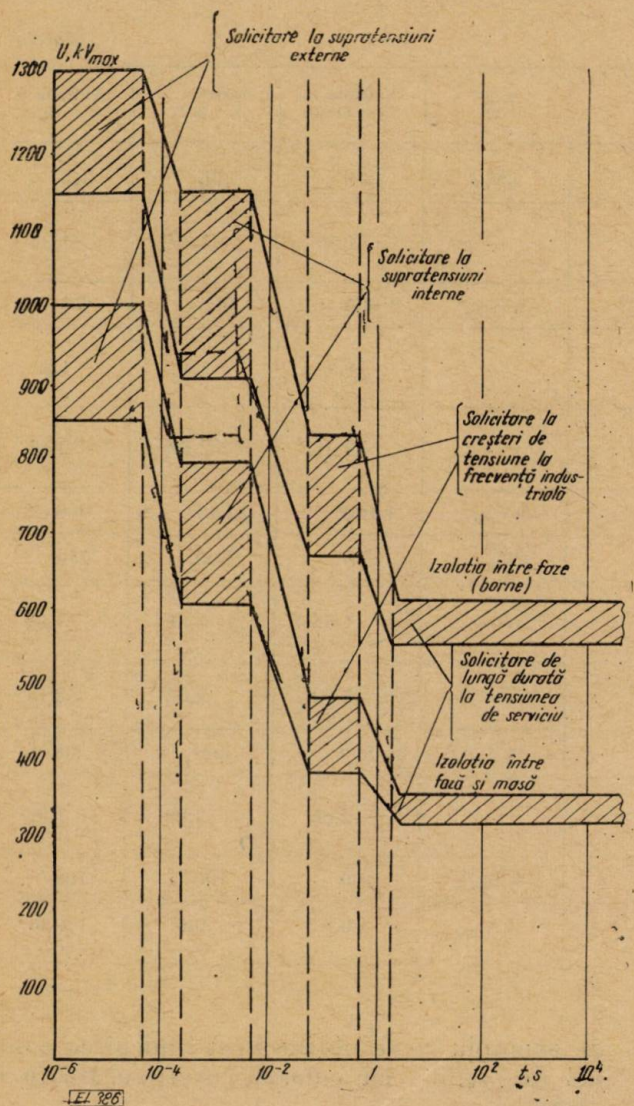


Fig. 8. Diagrama orientativă a diverselor genuri de solicitări electrice a izolației transformatoarelor și autotransformatoarelor de 400 kV în funcție de durata lor de aplicare.

babilitatea de apariție diferită. În figura 9, de exemplu, se dă probabilitatea (frecvența) de apariție a diverselor supratensiuni de conectare într-o rețea buclată de 400 kV, principala solicitare a izolației transformatoarelor și autotransformatoarelor la această treaptă de tensiune.

Din punctul de vedere al coordonării izolației, are o importanță majoră confruntarea acestei curbe cu curba corespunzătoare de variație a tensiunii de conturnare a izolației externe și interne a transformatoarelor (autotransformatoarelor) de 400 kV, stabilită pe cale experimentală.

De asemenea, are o importanță extraordinară admiterea unui risc ingineresc, bine justificat din punct de vedere tehnic și economic, pentru dispersia statistică a datelor (supratensiuni cu factor de multiplicare mai mare, împrăștierea punctelor de funcționare a mijloacelor de limitare asupra tensiunilor etc.) și probabilitatea de apariție a unor solicitări mai dure a instalației, decît cele scontate.

Astfel de date importante și concrete lipsesc, însă din literatura de specialitate de la noi, urmînd să fie obținute pe cale experimentală, după introducerea probei cu unde aperiodice lungi în standard (STAS 3035, STAS 6669; STAS 6489; STAS 1703).

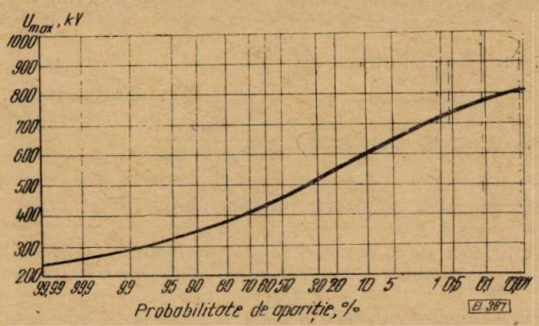


Fig. 9. Probabilitatea de apariție a supratensiunilor de conectare de valori diferite într-o rețea buclată de 400 kV [3].

2. Considerații privind nivelul de protecție din stațiile de transformare și de distribuție de 400 kV

Datorită unor progrese din industria electrotehnică, realizate în ultimul timp, în stațiile de 400 kV (și anume în locul de montaj al transformatoarelor și autotransformatoarelor) pot fi asigurate cu ajutorul unor descărcătoare moderne nivele de protecție convenabile din punct de vedere tehnic și economic atît în cazul supratensiunilor externe cît și în cazul celor interne [2], [9]. Nivelele de protecție menționate sînt determinate din următoarele caracteristici (proprietăți) ale descărcătoarelor și a schemei de protecție în general:

— *tensiunea de stingere* U_s, adică tensiunea de frecvență industrială maximă la care descărcătorul încă este în stare să stingă curentul de însoțire;

— *coeficientul de stingere* α, adică raportul tensiunii de stingere la tensiunea maximă de serviciu a rețelei:

$$\alpha = \frac{U_s}{U_n}; \qquad (1)$$

— *tensiunea de amorsare la impuls* U_{ai} și U_{af} (pe front), la unde aperiodice U_{aa} și la frecvență industrială (la tensiune sinusoidală) U_{as};

— *tensiunea reziduală* U_r, adică căderea de tensiune pe descărcător la trecerea curentului nominal de impuls al descărcătorului;

— *capacitatea de descărcare*, caracterizată printr-un impuls de curent mare de scurtă durată i_s și printr-un impuls de curent relativ mic, dar de durată mai lungă i_l, asociată cu tensiunile de ținere respective.

În tabela 1, se analizează trei variante posibile de rezolvare a problemei asigurării celor două nivele de protecție (pentru supratensiuni externe și pentru supratensiuni interne) în stațiile electrice din țara noastră, în comparație cu care să fie dimensionată izolația transformatoarelor și autotransformatoarelor de 400 kV.

Pentru asigurarea unui nivel de protecție optim prin descărcătoare combinate, care limitează atît supratensiunile interne cît și cele externe la 400 kV sînt preferate acele construcții de descărcătoare care au limite de stingere mai mari (ca de exemplu: noile tipuri de descărcătoare RVMK—500, la care limita de stingere atinge dublul tensiunii de fază), la care raportul dintre tensiunea de amorsare și tensiunea de stingere tinde către 1 (motiv pentru care descărcătoarele AVS — 300 sînt preferate față de descărcătoarele tip XAL—360 sau NKF—342) și la care capacitatea de descărcare (de trecere) este mai ridicată, fără implicații pentru caracteristica voltamper a întregului ansamblu (ca de exemplu ce se obține prin înlocuirea coloanei de „vilit" cu coloană corespunzătoare de „tervit").

Tabela 1

Denumirea caracteristicii	U/M	Varianta 1 $\alpha = 90\%$	Varianta 2 $\alpha = 80\%$	Varianta 3 $\alpha = 75\%$
Tensiunea de stingere, U_s	kV_{ef}	378	336	315
Limita de stingere $k_s = \frac{U_s}{U_m/\sqrt{3}}$	—	1,55	1,38	1,30
Nivel de protecție pentru supratensiuni externe, U_r	kV_{max}	1 000	900	850
Factorul de limitare, $\frac{U_r}{\sqrt{2}\ U_s}$	—	1,9	1,9	1,9
Coeficient de siguranță, $\frac{U_r}{\sqrt{2}\ U_m/\sqrt{3}}$	—	2,91	2,62	2,48
Tensiunea de amorsare pe front abrupt, U_{fa}	kV_{max}	1 150	1 040	980
Tensiunea de amorsare la supratensiuni interne, U_{aa}	kV_{max}	900	800	750
Factorul de limitare $\frac{U_{aa}}{\sqrt{2}\ U_s}$	—	1,68	1,68	1,68
Factorul de multiplicitate (de calcul) a supratensiunilor interne tolerate în sistem	—	2,62	2,33	2,18
Tensiunea de amorsare la frecvență industrială, U_{as}	kV_{ef}	$\geqslant$ 500	$\geqslant$ 500	$\geqslant$ 500
Coeficientul de siguranță $\frac{U_{as}}{U_m/\sqrt{3}}$	—	2,06	2,06	2,06
Curent maxim de descărcare de scurtă durată, i_s	kA_{max}	100	100	100
Curent maxim de descărcare de lungă durată (2 000 μs), i_l	kA_{max}	0,6	0,6	0,6

3. Considerații privind nivelul de ținere a izolației transformatoarelor și autotransformatoarelor de 400 kV

În funcție de nivelul de protecție (cele trei variante), ținînd seamă și de proprietățile descărcătorului, nivelul de ținere a izolației externe și interne a transformatoarelor și autotransformatoarelor de 400 kV rezultă în mod corespunzător, aplicînd coeficientul de siguranță respectiv.

În tabela 2 sînt concentrate datele corespunzătoare celor trei variante posibile de rezol-

Tabela 2

Denumirea caracteristicii		U/M	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Tensiunea de ţinere de frecvenţă industrială a izolaţiei externe şi interne (probă de 1 min)	între faze (bornele diferitelor faze)	kV_{ef}	680	680	680
	între fază şi masă	kV_{ef}	575	525	500
Tensiunea de ţinere a izolaţiei interne şi externe la unde aperiodice lungi de 200/2 000 μs	între faze (bornele diferitelor faze)	kV_{max}	1 375	1 375	1 375
	între fază şi masă	kV_{max}	1 000	875	825
Tensiunea de ţinere la impuls	tensiunea de ţinere a izolaţiei între faze (borne) la impuls 1,2/50 μs undă plină	kV_{max}	1 425	1 300	1 250
	tensiunea de ţinere a izolaţiei între faze (borne) la impuls 1,2/50 μs cu undă tăiată la 3 μs	kV_{max}	1 640	1 490	1 430
	tensiunea de ţinere a izolaţiei între fază şi masă la impuls 1,2/50 μs undă plină	kV_{max}	1 250	1 150	1 100
	tensiunea de ţinere a izolaţiei între fază şi masă la impuls 1,2/50 μs la undă tăiată	kV_{max}	1 425	1 325	1 275

vare a problemei. Evident că precizarea diferitelor mărimi din tabelă poate să rezulte numai din experimentări şi cercetări proprii efectuate pe viu în sistem şi pe modele (fizice sau matematice).

Din tabelă rezultă importanţa solicitării izolaţiei transformatoarelor şi autotransformatoarelor de 400 kV cu unde aperiodice lungi. Această situaţie are o corespondenţă bună şi în exploatare, unde la 400 kV izolaţia transformatoarelor este solicitată cel mai aspru la unde de supratensiune internă, deoarece acestea în stadiul actual de dezvoltare a descărcătoarelor şi întreruptoarelor sînt mai greu de limitat.

Solicitarea la impuls de tensiune (cu unde de tensiune avînd un front mult mai abrupt decît unda aperiodică) în izolaţia longitudinală a transformatoarelor moderne cu spire întreţesute nu prezintă dificultăţi, iar eventualele oscilaţii între înfăşurările serie-paralel ale autotransformatoarelor se pot reduce (atenua) la limite acceptabile prin tratarea exterioară a ansamblului de înfăşurări (inclusiv reglaj) cu capacităţi de compensare [10], rezistenţa de amortizare sau descărcătoare de limitare a supraoscilaţiilor care se nasc indiferent de schema de protecţie adoptată în ansamblul de înfăşurări a autotransformatorului.

Solicitarea izolaţiei cu tensiune de frecvenţă industrială este periculoasă în primul rînd pentru izolaţia externă între bornele fazelor învecinate. La transformatoare şi autotransformatoare în execuţie monofazată izolaţia externă faţă de pămînt poate să aibă un nivel mult mai scăzut. În cazul transformatoarelor şi autotransformatoarelor cu izolaţia degresivă (gradată complet sau parţial) această încercare este limitată prin nivelul de izolaţie al neutrului (110 kV în cazul de faţă) şi prin metoda de încercare practicabilă (de exemplu conform standardului britanic).

Din cele prezentate rezultă că rezolvarea cu succes a problemelor legate de construcţia şi

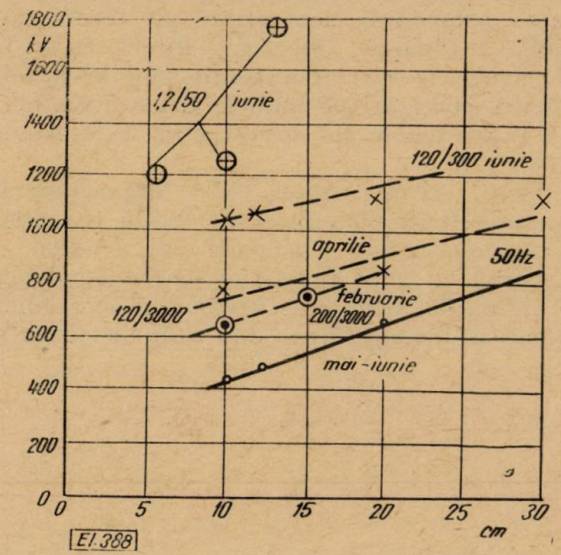


Fig. 10. Tensiunea de străpungere a intervalului de ulei dintre electrozi: tor izolat cu 5 mm strat de hîrtie-plan la diverse solicitări aplicate în momente de timp diferite.

exploatarea unor transformatoare şi autotransformatoare de 400 kV de fabricaţie indigenă implică cercetări intense în domeniul rigidi-

tății dielectrice a tipurilor caracteristice de construcții izolante (în aer și ulei) folosite la acestea. Ori în acest domeniu există date experimentale foarte puțin chiar pe plan mondial. Măsurătorile efectuate într-un timp mai îndelungat la izolația hîrtie-ulei arată o dispersie foarte mare (fig. 10) deocamdată inexplicabilă [3]. La izolația externă se pare că la dimensionarea izolației transformatoarelor, în alegerea distanței eclatoarelor de coordonare a izolației din stații (dacă acestea există) și în stabilirea distanțelor de izolație din stația de transformare se poate conta pe următoarele valori medii ale rigidității dielectrice a intervalului de aer:

— tije-tije, 3,5 kV/cm;
— tije-plan, 2,5 kV/cm;
— conductor orizontal-plan, 3 kV/cm.

Datele se referă la unde aperiodice pozitive avînd un front de circa 200 μs. În cazul undelor negative valorile medii sînt ceva mai ridicate.

Concluzii

— O dată cu introducerea în fabricație și exploatare a echipamentului electric de 400 kV și a transformatoarelor în special, este necesar să se revizuiască (să se completeze și să se detalieze), printr-un efort comun al constructorului și beneficiarului acestui echipament, prevederile STAS.

— Cercetărilor supratensiunilor în rețelele de 400 kV din Republica Socialistă România și în special problemelor legate de limitarea acestor supratensiuni trebuie să le fie acordată o atenție prioritară, dezvoltînd pe toate căile posibile mijloacele (încercări direct în sistemul energetic cu laboratoare mobile special echipate, cercetări pe modele fizice și matematice) și metodele de investigare a supratensiunilor.

— Prin crearea unor baze experimentale corespunzătoare (laborator de înaltă tensiune), atît la constructor (încercări în condiții de laborator), cît și la beneficiar (încercări în condiții de exploatare), este necesar să se studieze amănunțit comportarea în timp a izolației externe și interne din stații și a izolației echipamentului de 400 kV la solicitări de tip nou a izolației, ca de exemplu, la unde aperiodice lungi, la descărcări parțiale etc., al căror rol devine preponderent la această clasă de izolație.

— Ținînd seamă de importanța extraordinară, tehnică și economică, a problemelor legate de coordonarea izolației din stațiile de 400 kV după concepții moderne (bazate) pe limitarea supratensiunilor la nivele convenabile) și de incertitudinea care există în acest domeniu chiar pe plan mondial, se propune deschiderea unei dispute publice (în revistele de specialitate) axată pe tematica lucrării de față, la care să participe un cerc mai larg de specialiști sau o consfătuire comună a constructorului și beneficiarului acestui echipament.

Bibliografie

[1] *Babikov, M. A.* ș.a. Tehnika vîsokih napriajenii. GEI, Moscova—Leningrad, 1955, 287 p.
[2] *Dorsch, H.* Spannungsbeanspruchungen und Isolationsbemessung von Drehstrom — Höchstspannungsanlangen. Prospect Siemens Drehstrom — Höchstspannungs-Übertragung, 1968, p. 10—17.
[3] *Olav, S.* Iohansen. Energiaátviteli hálózatok túlfeszültség problémái. În: Elektrotechnika **61**, nr. 9, oct 1968, p. 349—358.
[4] *Razevig, D. V.* ș.a. Tehnika vîsokih nepriajenii. GEI, Moscova—Leningrad, 1963, 471 p.
[5] *Paris, L.* și *Taschini, A.* Résultats de récentes recherches sur les surtensions de manoevre dans les réseaux à tres haute tensions. În: Electra, nr. 4, 1968, p. 28—32, 34, 36—38, 40—43.
[6] *Rabus, W.* Isolationsprobleme bei Transformatoren höchster Spannung (380 bis 600 kV). În: ETZ—A **81**, nr. 2, ian 1960, p. 34—41.
[7] *Wehrli, R.* Surtensions à l'enclenchement de lignes à haute tension. În: Bul. Oerlikon 379/380, febr 1968, p. 2—5.
[8] *Sapojnikov, A. V.* Volnî atmosfernîh perenapriajenii, dopustimie dlia vnutrennei izolații silovîh transformatorov. În: Elektriceskie stanții, nr. 4, apr 1968, p. 56—68.
[9] *Baatz, H.* Anwendung von Ableitern in Netzbetrieb. În: ETZ—A, nr. 1, ian 1967, p. 16—21.
[10] *Máthé, B.* și *Răducan, I.* Studiul repartiției tensiunii de impuls pe înfășurările serie-paralel ale autotransformatoarelor cu borna de intrare la mijlocul înfășurării. Electrotehnica **16**, nr. 9, 1968, p. 351—356.

Intrat în redacție la 13 XII 1968

RECENZII

CZ 621.3.013. :538.12

* * * **Cîmpuri magnetice intense** (Les champs magnétiques intenses). Paris, Centrul Național al Cercetărilor Științifice, 1968.

Pe cuprinsul a 438 de pagini se tratează o serie de probleme legate de producerea și folosirea cîmpurilor magnetice de mare intensitate. Cele șase părți ale studiului dezvoltă următoarele probleme : istoricul și formularea posibilităților de producere și utilizare a instalațiilor generatoare de cîmpuri magnetice intense ; cîmpuri magnetice intense cu acțiune continuă ; bobine criogene și supraconductoare ; bobine cu volum mare, supraconductoare și clasice. Bobine supraconductoare speciale ; cîmpuri magnetice intense pentru plasme ; cîmpuri pulsatorii. Aspecte teoretice și practice.

În prima parte se fac considerații asupra istoricului producerii cîmpurilor magnetice intense și contribuția lor asupra dezvoltării diverselor fenomene fizice din electrotehnică. Totodată se fac incursiuni asupra cîmpurilor magnetice din solide aflate la temperaturi foarte joase. Se arată atît aspectele teoretice cît și aplicațiile industriale.

Partea a doua a lucrării dezvoltă o serie de aspecte cum ar fi : studiul unui cîmp intens și acțiunile sale asupra unei bobine. După o serie de considerații teoretice și practice privind utilizarea cîmpurilor magnetice de mare intensitate se fac precizări privind folosirea acestor cîmpuri în unele cazuri speciale. În încheiere se specifică unele aplicații deosebite ale cîmpurilor magnetice intense cu acțiune continuă asupra interacțiunii elementelor feromagnetice în aliaje cu compoziție diferită fier-aur.

În partea a treia a lucrării se expun aspectele principale ale comportării bobinelor criogene și supraconductoare. Se descriu, pe de o parte, instalațiile pentru realizarea criogeniei, iar pe de altă parte, se insistă asupra supraconductivității bobinelor. Aspectele teoretice și practice dezvoltate sînt de natură de a reține atenția proiectanților și consumatorilor de aparate și mașini electrice după procedeele experimentate în criogenie.

Partea a patra a lucrării dezvoltă aspecte legate de bobinele clasice și supraconductoare de mare volum. Totodată se fac precizări privind modul de folosire a bobinelor supraconductoare speciale. O clasă de probleme care cuprinde atît considerații teoretice cît și practice se referă la cîmpuri magnetice intense aplicate în fizica și tehnica nucleară. O altă problemă practică majoră cuprinde experimentările asupra unui cablu supraconductor semistabil. Nu se lasă fără răspuns nici modul de realizare a bobinelor supraconductoare situate în cîmpuri omogene și de mare intensitate.

Sînt cercetate și cîmpurile magnetice intense folosite în laboratoare pentru efectuarea experiențelor în cazul emulsiilor corpusculare.

În încheierea acestei părți se arată cum se produc cîmpurile magnetice intense și omogene în cabluri supraconductoare și se insistă asupra rezonanței magnetice nucleare.

Partea a cincea a studiului cuprinde o serie de aspecte teoretice și aplicative ale cîmpurilor magnetice intense din domeniul plasmei.

Considerațiile asupra cîmpurilor magnetice care sînt folosite în cazul reacțiilor nucleare și în special în înfășurarea plasmei aduc în discuție o serie de probleme cu aplicabilitate imediată și de viitor.

În ultima parte a studiului se fac considerații asupra cîmpurilor pulsatorii insistîndu-se asupra rezultatelor fizice obținute în urma efectuării unor serii de experiențe cînd se folosesc cîmpuri magnetice intense. Printre problemele dezvoltate se remarcă cele legate de : realizări de bobine cuplate cu generatoare de impuls, proiectarea și construirea unei instalații pentru producerea unor cîmpuri pulsatorii de mare intensitate, precum și realizarea unor bobinaje care să funcționeze în cîmpuri magnetice pulsatorii de mare intensitate.

Studiul este realizat la un nivel înalt și tratează problemele corespunzător atît sub aspect fizic cît și matematic. De remarcat faptul că se dau indicații asupra proiectării unor dispozitive și aparate și se descriu atît experiențele efectuate cît și aparatajul realizat și aplicat în practică.

A. Carabulea

CZ 621.312. :621.396.6

D. F. Lăzăroiu și M. Săvescu. **Tehnologia de fabricație a pieselor radioelectronice.** București, Editura tehnică, 1968, 447 pag.

Dacă acum două trei decenii prin electronică se înțelegea aproape exclusiv producția de radioreceptoare, astăzi toate domeniile științei, tehnicii și chiar economiei sînt puternic influențate de dezvoltarea industriei electronice. Numărul mare și variat de componente, gradul înalt de precizie și acurateță pe care îl necesită construirea aparatelor radioelectronice, fac ca tehnologia de fabricație a acestora să fie deosebit de complexă.

Prezenta lucrare, ca o continuare a cărții „Tehnologia generală în industria electronică", răspunde necesității de pregătire a personalului tehnic superior, într-un domeniu puțin abordat de cursurile universitare.

În 15 capitole cartea tratează tehnologia de fabricație a rezistoarelor, condensatoarelor, feritelor, dispozitivelor piezoelectrice, dispozitivelor semiconductoare, elementelor bobinate dispozitivelor electroacustice, cablajelor și circuitelor imprimate, elementelor radioelectronice microminiaturizate, pieselor mecanice ca și probleme de montare și asamblare, protecție climatică, robustețe și siguranță în funcționare. Remarcabilă este ideea de abordare alături de particularitățile tehnologice ale fabricației pieselor radioelectronice și a problemelor privitoare la bazele proiectării proceselor tehnologice.

Sistematizarea materialului vizează conștient tratarea de la simplu la complex ceea ce ușurează mult lectura și o face accesibilă și cadrelor cu o pregătire medie sau studenților din facultățile de specialitate.

Ideea de tratare unitară a tehnologiei tuturor categoriilor de piese radioelectronice, nu permite o aprofundare a materialului, dar reliefează mai pregnant atît problemele de bază cît și pe cele specifice, oferind cititorului perspectiva evoluției tehnicii pînă la procedeele și utilajele moderne folosite astăzi în aceste domenii.

Lucrarea, elaborată de un colectiv de 18 specialiști în domeniu, are un caracter de sinteză unitară, un stil clar, concis utilizînd noțiuni și scheme sugestive pentru explicarea fenomenelor mai complexe și o bibliografie bogată care însumează peste 300 de referințe în cea mai mare parte actuale și cu trimiteri în text, ceea ce permite cititorului interesat într-o anumită problemă să o aprofundeze.

Marele număr de exemplificări, modul de exprimare și prezentarea reușită, nemaivorbind de valoarea teoretică a lucrării, îi asigură un loc bine meritat în contextul lucrărilor de specialitate similare, pe plan mondial.

Conform celor de mai sus se consideră că lucrarea poate fi recomandată tuturor celor care vor să ia contact cu un material de bună calitate recent apărut.

ing. *Nona Millea*

CZ 621.382.2 : 621.316.268 – 758

V.V. Mihailov. Tiristoarele în instalațiile de comandă pentru prevenirea avariilor (Tiristorî v ustroistvah avariinovo upravleniia). Moscova, Editura Energhia, 1968, 112 pag.

Cartea lui Mihailov este o contribuție interesantă la consacrarea unui domeniu relativ nou, dar în plină expansiune, de afirmare a proprietăților de bază ale tiristoarelor. În introducerea ce precede cele patru capitole ale cărții, autorul menționează aceste proprietăți, care au asigurat în timp o preferință pentru tiristoare în comparație cu transistoare, în instalațiile de comandă pentru prevenirea avariilor. Printre

calităţile menţionate, se pot reţine următoarele: coeficienţi de amplificare de valori mari (de ordinul 10^5-10^6), precum şi o gamă foarte largă de curenţi şi tensiuni.

Primul capitol al lucrării, intitulat „Perspectivele folosirii tiristoarelor în instalaţiile de comandă pentru prevenirea avariilor", începe cu o discutare a carenţelor pe care le prezintă releele electromagnetice, carenţe ce pot fi înlăturate prin folosirea raţională a tiristoarelor. Apoi autorul efectuează o trecere în revistă a modului de funcţionare al tiristoarelor monooperaţionale şi bioperaţionale. Sînt discutate pe scurt caracteristicile principale ale acestor dispozitive semiconductoare, precum şi aspecte legate de procesele tranzitorii la amorsarea şi blocarea tiristoarelor. Autorul insistă asupra calităţii tiristoarelor bioperaţionale de a fi blocate pe electrodul de comandă (poartă). Sînt prezentate şase variante de circuite de comandă pentru acest tip de tiristoare, clasificare pe baza operaţiilor şi parametrilor informaţionali ai semnalelor de reacţie. Un subcapitol aparte abordează analiza statistică a dispersiei parametrilor tiristoarelor.

Al doilea capitol al cărţii („Releu de curent şi tensiune cu folosirea tiristoarelor") este mai scurt, dar reuşeşte să prezinte cele mai signifiante scheme cunoscute la ora actuală. Deşi unele scheme nu îndeplinesc dezideratul de simplitate, iar elementele circuitelor nu au trecut valori numerice şi nici nu se dă o metodă de proiectare a acestora, acest capitol prezintă interes din punct de vedere descriptiv, reuşind să înmănuncheze într-o lucrare unitară o serie de circuite interesante.

Capitolul al treilea al lucrării se ocupă de relee diferenţiale şi fazosensibile cu tiristoare. Un moment interesant este marcat de schema unui releu diferenţial universal bazat pe folosirea unui tiristor bioperaţional. Sînt abordate şi scheme combinate, care folosesc atît tiristoare, cît şi elemente magnetice.

Ultimul capitol este consacrat aspectelor folosirii tiristoarelor pentru protecţia instalaţiilor tehnologice. Primul subcapitol se ocupă de un sistem de excitare cu tiristoare pentru un generator sincron. Următorul subcapitol prezintă o schemă de conectare într-o fază dată a tensiunii. Subcapitolele de încheiere sînt consacrate schemelor de protecţie propriu-zise.

Anexa cărţii cuprinde parametrii tiristoarelor cu care s-au efectuat o parte din experienţele şi încercările descrise. Cartea cuprinde peste 100 titluri bibliografice, dar cele mai recente sînt datate de la începutul anului 1966. Cu toate acestea, specialiştii interesaţi pot culege din ele o serie de date suplimentare interesante începînd cu teoria tiristoarelor şi terminînd cu circuite complexe de protecţie pentru scopuri tehnologice. Acest lucru este cu atît mai imperios necesar, cu cît cartea lui Mihailov, datorită volumului ei relativ restrîns, poate fi considerată ca un îndreptar pentru aprofundarea temei propuse în titlul lucrării.

ing. *Andrei Silard*

REFERATE

CZ 538.6 *Efectele cîmpurilor magnetice*

CZ 538.632

* * * **Efectul Hall** (L'effet Hall). În: Revue Générale de l'Électricité, tom **77**, nr. 12, dec 1968, p. 1 169 — 1 180, 17 fig., 12 ref. bibl.

Pe cuprinsul a două materiale de specialitate se fac consideraţii teoretice şi practice asupra efectului Hall. Principalele probleme tratate se rezumă astfel:

1. Quichaud, M. Miaux şi Bonnefille, R. „Studiul teoretic şi experimental a unui generator asincron cu efect Hall" (Étude théorique et expérimentale d'un génératice asynchrone à effet Hall).

Se studiază un generator asincron bifazat la care indusul este închis pe un multipol cu efect Hall. Se construieşte schema echivalentă a maşinii în cazul plasării multipolului pe un indus cu colector. Indusul este supus apoi unei viteze de rotaţie în cîmpul pe care îl creează. Se demonstrează că o astfel de maşină poate constitui o sursă de energie reactivă produsă în acelaşi timp cu debitarea energiei active.

2. „Efectele formei geometrice asupra tensiunii Hall a unui eşantion izotrop supus unui cîmp de inducţie coplanar (Effets de la forme géométrique sur la tension de Hall d'un échantillon isotrope soumis à un champ d'induction coplanaire).

Se arată care este influenţa formei geometrice asupra tensiunii Hall măsurată între două suprafeţe plane a unui eşantion semiconductor cînd corpul este pus într-un cîmp paralel cu el însuşi. Liniile de curent sînt perturbate în acest caz prin variaţia rezistivităţii materialelor în funcţie de orientarea şi intensitatea cîmpului de inducţie. Se expun două metode de predeterminare a deformării tensiunii şi se compară rezultatele cu cele obţinute în cazul unui eşantion circular.

A.C.

CZ 621.314 *Transformarea energiei electrice*

CZ 621.314.2.045.29:621.014.1

Mullineux, N., Red, J.R. şi Whyte I. J. **Distribuţia de curent în transformatoarele cu înfăşurări în folie** (Current distribution in sheet and foilwound transformers). În: Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, nr. 1, 1969, p. 127—129, 5 fig., 6 ref. bibl.

În ultimii ani construcţia transformatoarelor ale căror înfăşurări sînt realizate din folii de aluminiu a luat un mare avînt. Deşi, din punctul de vedere al principiului de funcţionare nu diferă de transformatoarele clasice, anumite particularităţi (repartiţia neuniformă a curentului în secţia foliei datorită componentei radiale a cîmpului magnetic de scăpări, capacitatea mult mărită dintre spire etc.) cere o tratare separată a acestor noi tipuri de transformatoare.

Autorii rezolvă o parte din aceste probleme, în ipoteza unei înfăşurări de înaltă tensiune convenţionale, curent uniform repartizat şi o înfăşurare în folie pe partea secundară.

Utilizînd ecuaţiile lui Maxwell, se determină repartiţia cîmpului de scăpări şi curenţilor în foliile respective. Densitatea de curent este obţinută sub forma unei ecuaţii integrale de tip Fredholm care este rezolvată printr-o metodă numerică, utilizînd un calculator digital.

R. M.

CZ 621.314.236.621.327.43

Jürgen Bader. **Transformatoare de curent constant pentru lămpi luminoase de înaltă tensiune** (Konstantstromtransformatoren für Hochspannungsleuchtröhren). În: ETZ—B, tom **21**, nr. 1, 1969, p. 1—4, 6 fig., 2 ref. bibl.

Pînă în prezent se foloseau pentru alimentarea lămpilor luminoase la înaltă tensiune doar transformatoare clasice.

Noile transformatoare cu curent constant pentru alimentarea lămpilor luminoase la înaltă tensiune sînt dimensionate pe baza noilor norme VDE. Aceste transformatoare prezintă o serie de avantaje în privinţa exploatării dimensiunilor geometrice şi a schemei de montaj în cadrul instalaţiilor.

Consideraţiile din lucrare scot în evidenţă, atît aspectele fizice şi matematice ale problemelor de alimentare a lămpilor de iluminat, cît şi problemele proiectării şi montării unor lămpi electrice alimentate la tensiune înaltă.

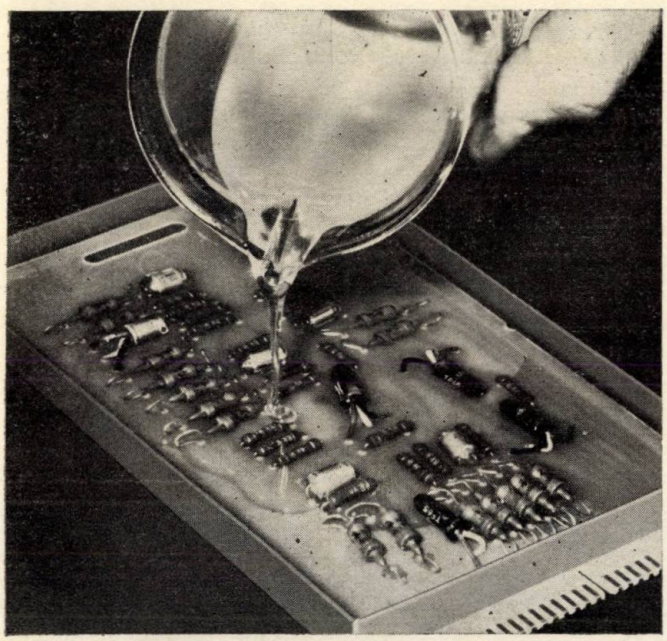
Calculele pentru partea teoretică a problemei se fac considerînd schema de principiu modelată analogic. Pe baza calculelor şi a măsurătorilor efectuate se trasează o serie de caracteristici voltampermetrice pentru diferite tipuri de lămpi luminoase alimentate la înaltă tensiune.

A. C.

S 4668

Protecţie contra vibraţiilor şi umidităţii

Vibraţiile şi umiditatea influenţează funcţionarea elemantelor constructive electronice. Protejaţi deci piesele importante prin SilGel, o substanţă de impregnare din silicon-cauciuc-transparent.



SilGel

are aspectul cauciucului, este rezistent la căldură şi frig, protejează contra apei, prezintă rezistenţă la intemperii şi îmbătrînire, are însuşiri electrice favorabile şi este bun conducător de căldură.

SilGel se poate prelucra uşor şi se solidifică la temperatura mediului ambiant.

Ca materiale netransparente pentru impregnare şi turnare vă recomandăm varietăţile noastre verificate de silicon-cauciuc, care se pot vulcaniza la rece.

Vă stăm cu plăcere la dispoziţie cu sfaturi şi cu prospectele noastre.

WAKER-CHEMIE GMBH

8 München 22, Postfach
Republica Federală a Germaniei

TITLURI DOCUMENTARE

CZ 621.313 **MAŞINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU ŞI ALTERNATIV. GENERATOARE. MOTOARE**

CZ 621.313. :621.3.017

Tamoyan, S.G. şi *Hairullin, H.I.* **Determinarea pierderilor de putere şi ecranul nemagnetic al unui motor.** În : Elektricestvo nr. 6, 1969, p. 17—20, 4 fig., 12 ref. bibl.

CZ 621.313.13 – 181.4.017.8

Moczala, H. **Îmbunătăţirea randamentului motoarelor de putere mică cu viteză constantă alimentate la baterie.** În : Elektrotech. Z (ETZ—A) **90**, nr. 7, 28 mar 1969, p. 152—155, 6 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.313.2 :621.771.002.52

Berger, W. **Motoare de tip metalurgic de curent continuu utilizare pentru servicii auxiliare.** În : Revue Brown Boveri **56**, nr. 1, 1969, p. 36—43, 7 fig., 1 tabl.

CZ 621.313.222 – 57

* * * **Determinarea rezistenţelor de pornire la motoarele de curent continuu şunt şi serie.** În : Elektrie **23**, nr. 5, mai 1969, p. 190—192, 3 fig, 2 ref. bibl.

CZ 621.313.322.013.62

Böning, W. **Generatoare sincrone autoexcitate cu excitaţie compaund.** În : Siemens Z, **43**, nr. 5, 1969, p. 465—472, 14 fig., 18 ref. bibl.

CZ 621.313.32.2. – 81.001.2

Danielevitch, B.J. şi *Kosachevski, I.V.* **Studiul cîmpului electromagnetic şi pierderilor în placa de strîngere a statorului turbogenerator.** În : Eletricestvo nr. 6, 1969, p. 10—14, 3 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.313.323. :621.313.8

Volkrodt, W. **Motoarele sincrone cu excitare prin magneţi permanenţi în regim de frînare.** În : Elektrotechn, Z (ETZ—A) **90**, nr. 5, 28 feb 1969, p. 99—103, 4 fig., 3 ref. bibl.

CZ 621.313.33 : 631.314.26.001.8

Schönfeld, R. **Comportarea staţionară şi dinamică a maşinilor cu cîmp învirtitor alimentate cu convertizor de frecvenţă.** În : Elektrie **23**, nr. 6, 1969, p. 248—251, 7 fig., 1 tabl., 9 ref. bibl.

CZ 621.313.39.001.1

Langen, M.A. **Teoria motorului cu histerezis ideal.** În : Elektricestvo, nr. 6, 1969, p. 6—9, 4 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.314 **TRANSFORMAREA ENERGIEI ELECTRICE. TRANSFORMATOARE. CONVERTIZOARE. REDRESOARE. COMUTATRICE**

CZ 621.314.1

Wagner, R. **Relaţii între curenţi şi tensiuni la regulatoarele cu chapper de curent continuu.** În : Siemens Z **43**, nr. 5, 1969, p. 458—464, 12 fig., 1 tabl., 6 ref. bibl.

CZ 621.314.63.001 – 52

Juchelka, H. **Aparat automat de încercare pentru combinaţia de redresoare cu siliciu miniatură.** În : Siemens Z, **43**, nr. 5, 1969, p. 456—457, 1 fig., 2 ref. bibl.

CZ 621.315 **TRANSMISIA ENERGIEI ELECTRICE. LINII AERIENE. CABLE. CONDUCTOARE. MATERIALE IZOLANTE. MATERIALE DE INSTALAŢII**

CZ 621.315.1.014.3

Zollenkopf, K. **Consideraţii asupra cuplajului din sistemele homopolare în cazul calculelor de scurteircuit.** În : Elektrotechn. Z (ETZ—A) **90** nr. 13, 20 iun 1969, p. 299—305, 7 fig., 7 ref. bibl.

CZ 621.315.221.014.7

Bott, J. şi *Schröder, G.* **Temperaturile limită admisibilă ale ecranelor cablurilor de curenţi mari în caz de scurtcircuit.** În: Elektrotechn. Z (ETZ—B) **21**, nr. 11, 30 mai 1969, p. 247—250, 5 fig., 1 tabl., 2 ref. bibl.

CZ 621.315.624.4.019.3 :620.169.1

Rivière, D. **Siguranţa în funcţionare a izolatoarelor de linii aeriene.** În: Elektrotechn. Z (ETZ—B), **21**, nr. 11, 30 mai 1969, p. 250—255, 4 fig., 1 tabl., 9 ref. bibl.

CZ 621.316 DISTRIBUIREA ENERGIEI ELECTRICE. REŢELE. REDESCHIDEREA ŞI ÎNCHIDEREA CIRCUITELOR. REGLAREA MĂRIMILOR ELECTRICE. PROTECŢIA APARATELOR ŞI INSTALAŢIILOR

CZ 621.316.13.027.3 :621.315.66.053

Spickmann, H. **Tensiunea prizelor de pămînt a pilonilor liniilor de înaltă tensiune trifazată în caz de mers normal.** În: Electrotechn. Z (ETZ—A) **90**, nr. 11, 23 mai 1969, p. 261— 264, 5 fig., 1 tabl., 10 ref. bibl.

CZ 621.316.31 : 621. 391.823

Kaiser, W. **Protecţia împotriva perturbaţiilor din sistemele integrate ale telecomenzii industriale.** În: Elektrotechn. Z(ETZ—A) **90**, nr. 11, 23 mai 1969, p. 264—269, 7 fig., 3 ref. bibl.

CZ 621.9—523 COMANDA NUMERICĂ A MAŞINILOR-UNELTE

CZ 621. 9—523 : 681.32

Stule, G. **Stadiul şi tendinţele dezvoltării comenzii numerice a maşinilor-unelte.** În Elektrotechn. Z (ETZ—B) **21**, nr. 12, 13 iun 1969, p. 263—271, 13 fig., 2 tabl., 12 ref. bibl.

CZ 621.9.—523 :681.32

Geyer, W. şi *Waller, S.* **Maşini-unelte comandate numeric şi prelucrarea informaţiei în legătură cu producţia mecanică.** În: Elektrotehn. Z (ETZ—B) **21**, nr. 12, 13 iun 1969, p. 271—276, 6 fig.

CZ 621.9—523:681.32

Götz, E. **Dimensionarea comenzii numerice cu o bună posibilitate de adaptare la maşinile-unelte.** În: Electrotechn. Z (ETZ—B) **21**, nr. 12, 13 iun 1969, p. 285—291, 10 fig.

CZ 621.9—523:681.32

Wild, G. **Posibilităţi şi metode de comandă numerică a căii.** În: Elektrotechn. Z (ETZ—B) **21**, nr. 12, 13 iun 1969, p 276—285, 9 fig , 2 tabl.

CZ 621.941—503.55

Hoffmann, K.R. şi *Kugler, P.* **SINUMERIK—120 un sistem de comandă numerie pentru strunguri.** În: Siemens Z **43**, nr. 6 1969, p. 491—494, 1 fig., 5 ref. bibl.

CZ 621.9—503.55

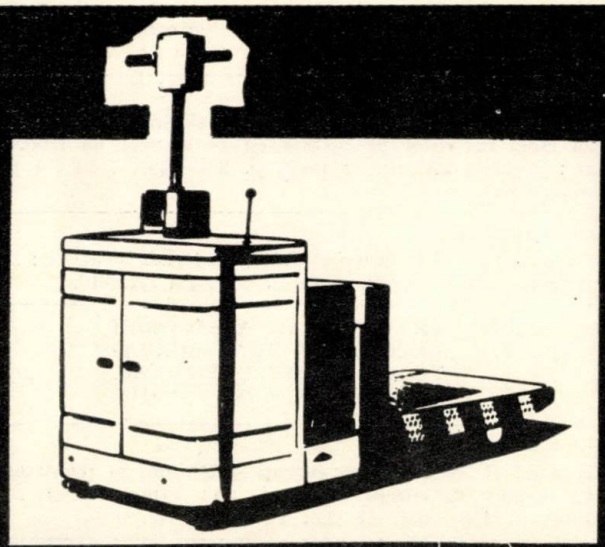
Basilowski, H. **SINUMERIK—270 şi 271 două sisteme numerice de comandă pentru maşini de găurit şi frezat.** În: Siemens Z **43**, nr. 6, 1969, p. 494—498, 3 fig., 1 tabl., 4 ref. bibl.

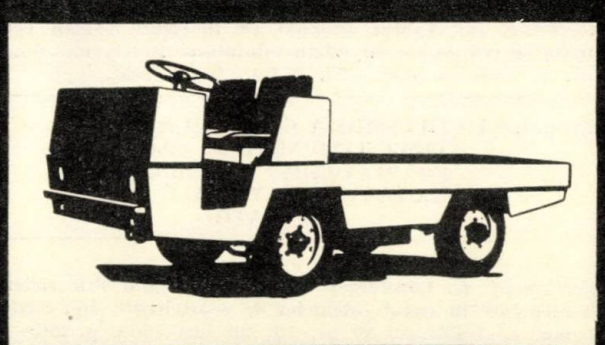
CZ 621.9 : 621.3.085.3

Hofmann, H. şi *Sautler, G.* **SINUMERIK—701, un dispozitiv indicator de poziţie pentru maşini-unelte.** În: Siemens Z **43**, nr. 6, 1969, p. 498—500, 2 fig.

CZ 621.9—503.33

Muller, B. şi *Roller, H.* **Experienţa în domeniul maşinilor-unelte cu comandă numerică.** În: Siemens Z **43**, nr. 6,1969, p. 500—505, 11 fig.





STABILITATE ŞI MANEVRABILITATE
DIMENSIUNI REDUSE
CONDUCERE UŞOARĂ ŞI SIGURĂ

Transportoare elevatoare de mică înălţime cu sarcina nominală de 630 pînă la 5000 kg

Transportoare electrice cu capacitatea de încărcare de 630 pînă la 3000 kg

Pentru maşinile de fabricaţie BALKANCAR sînt asigurate servicii şi piese de schimb

Informaţii detaliate şi oferte: BALKANCARIMPEX Sofia Bulgaria

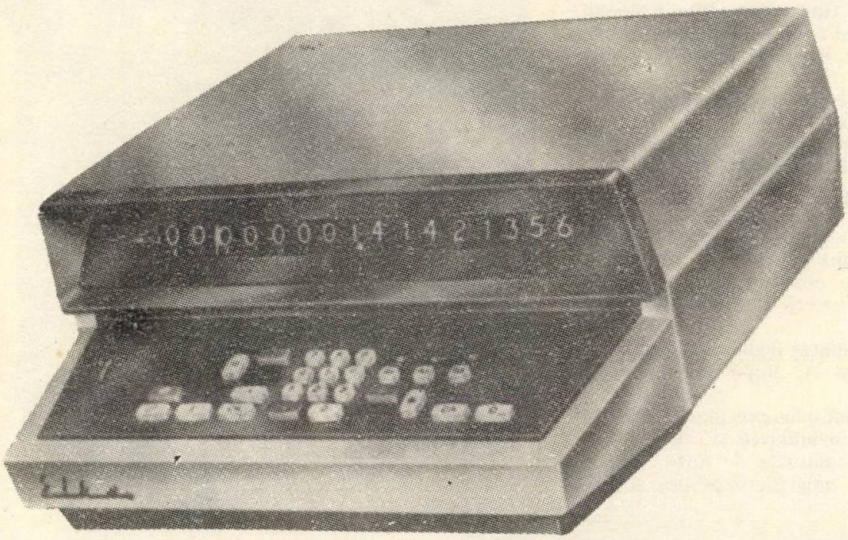
balkancar

Electroimpex

ELECTROIMPEX – BULGARIA Sofia, str. G. Washington 17, telefon : 88.49.91, telex : 575

OFERĂ MAȘINI ELECTRONICE DE CALCUL „ELCA“ — 21

ELCA 21 :

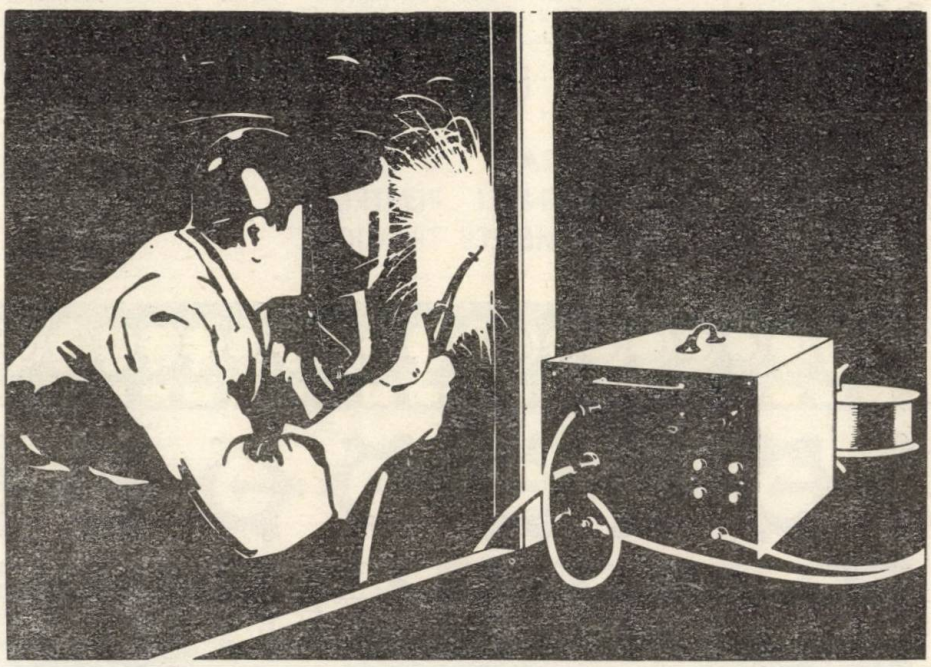


— efectuează adunări, scăderi, extragere de rădăcini cu 16 poziții ;
— înmulțește și ridică la putere cu precizie dublă ;
— adună și scade în trei registre independente ;
— calculează cu precizie fixată anticipat ;
— calculează în mod automat nu numai rezultatele în cifre, dar și semnul aritmetic și locul virgulei zecimale ;
— în cazul manipulărilor greșite întrerupe în mod automat acțiunea ;
— lucrează repede și fără zgomot ;
— se deservește cu o ușurință exclusivă.

Folosiți sudarea cu arc voltaic de scurtă durată

Aceasta înseamnă folosirea tehnicii moderne de sudare, în cazul sudării tablei subțiri. Datorită transferului redus de căldură în piesa prelucrată, sudarea cu arc voltaic de scurtă durată se recomandă în special pentru table subțiri pînă la grosimi de cel puțin 1,0 mm, ca și pentru sudura de poziție, sudura în cusătură cu o completare la rădăcini și suduri pentru închiderea fisurilor.

Oferim două instalații Kjellberg pentru sudarea cu arc voltaic de scurtă durată. Un dispozitiv portabil ușor de manevrat tip MSH—K și un automat de sudare pe șine tip MSK. Cereți informații asupra aparatelor de sudare cu arc voltaic de scurtă durată Kjellberg.



Kjellberg
FINSTERWALDE

KJELLBERG ELEKTRODEN&MASCHINEN GMBH IN VERW.
DDR 798 FINSTERWALDE
DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

Exportator:

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR 104 BERLIN CHAUSSEESTRASSE 111/112

Cei interesați se pot adresa la:
Biroul Tehnic-Comercial
AHB Elektrotechnik Export-Import
Ambasada R.D.G. din R. S. România
Cal. Dorobanților 14 — București

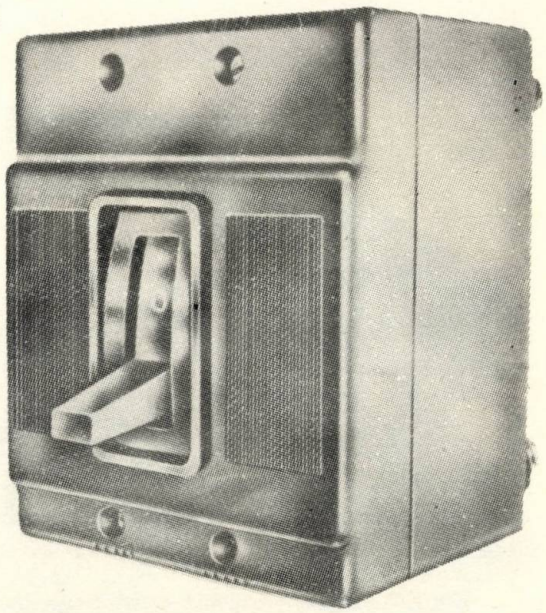
Electroimpex

ELECTROIMPEX — BULGARIA Sofia, str. G. Washington 17, telefon: 88.49.91, telex: 575

EXPORTĂ:

A. APARATAJ DE JOASĂ TENSIUNE:

- întrerupătoare de putere automate de la 63 pînă la 800 A tipurile A1, A2, A3 şi A4 — confecţionate după licenţa firmei:
- o nouă serie de relee termice pentru protecţia motoarelor electrice pînă la 100 kW — tip RTB;
- contactoare cu aer pentru curent alternativ de la seria K, pînă la 100 A — tipuri K0, K — 1, K — 2, K — 3 şi K — 5;
- demaroare cu aer pentru motoare pînă la 20 kW, execuţie deschisă, închisă şi protejată;
- comutatoare cu aer stea-triunghi — tip PVZT;
- demaroare inversoare cu aer — tip PVR;
- comutatoare şi contactoare cu ulei — tipuri KM—20 şi KM—63, KM — 100, KMR — 63, KMR — 100 şi APM — 40, 100 şi 200 A;
- comutatoare — pachet pînă la 100 A, execuţie deschisă şi protejată;
- siguranţe de înaltă putere cu proprietatea de întrerupere peste 100 kVA şi curenţi nominali pînă la 1000 A;
- o serie de butoane pentru toate necesităţile industriei electrice moderne după licenţa firmei VOIGT & HAEFFNER



B. APARATAJ DE ÎNALTĂ TENSIUNE:

- disjunctoare monopolare şi tripolare pentru montaj acoperit pînă la 35 kV şi pentru montaj deschis pînă la 220 kV;
- siguranţe tubulare de înaltă putere pînă la 10, 20 şi 35 kV pentru montaj deschis şi închis cu putere de întrerupere pînă la 800 MVA;
- întrerupătoare cu ulei puţin pentru montaj închis 10, 20 şi 36 kV pînă la 2000 A şi 1250 MVA, seria A, după licenţa firmei EIB — Belgia;
- întrerupătoare cu ulei puţin pentru montaj deschis pînă la 110 kW, 1500 A şi 5000 mVA, cu acţionare pneumatică şi motor;
- comutatoare Jansen pentru transformatoare de forţă pînă la 220 kW şi putere pînă la 250 MVA, construcţie proprie şi după licenţa firmei REINHAUSEN-RFG.

VEB Lokomotivbau — Elektrotechnische Werke „Hans Beimler" 1422 Hennigsdorf Deutsche Demokratische Republik

LEW

CUPTOARE CU FLUX CONTINUU PENTRU TRATAMENTE TERMICE

Producţia modernă de masă necesită şi o automatizare a tratamentului termic al pieselor metalice.

Cuptoarele cu role cu flux continuu, cuptoarele cu benzi transportoare, cuptoarele cu propulsie şi cuptoarele — tunel din seria LEW, permit realizarea proceselor de tratamente termice cu o înaltă productivitate şi mare eficienţă.

Încălzirea electrică la cuptoarele cu flux continuu s-a dovedit deosebit de avantajoasă. O repartizare judicioasă a surselor de căldură şi o reglare fină, asigură o temperatură uniformă în interiorul cuptorului şi permit o recoacere şi călire reproductibilă la un consum de energie deosebit de redus.

Livrăm cuptoare cu flux continuu în construcţie etanşă, pentru tratamente termice

Solicitaţi-ne vă rugăm prospecte!

Exportator:

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR 104 BERLIN CHAUSSEESTRASSE 111/112

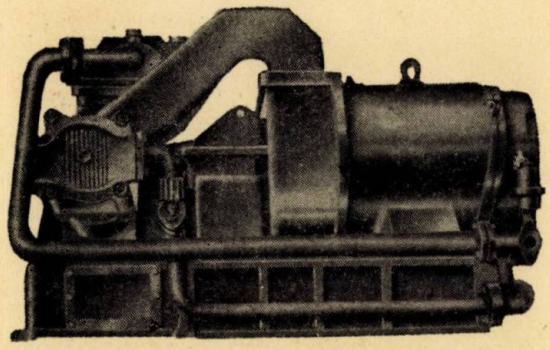
Cei interesaţi se pot adresa la:
Biroul tehnic-comercial AHB Elektrotechnik Export-Import, Secţia de politică comercială a Ambasadei R.D.G. din Republica Socialistă România, Calea Dorobanţilor, nr. 14, Bucureşti

UZINA DE MOTOARE ȘI COMPRESOARE

Timpuri Noi

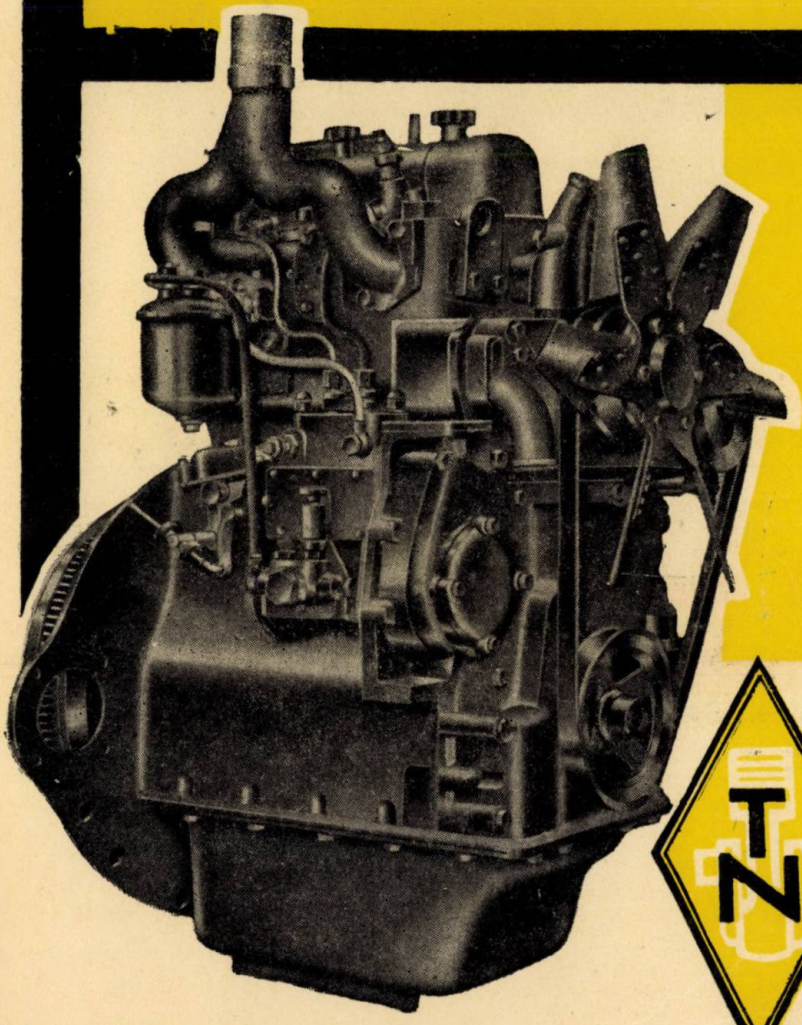
BUCUREȘTI

execută și livrează în țară și străinătate:



Compresoare de aer cu piston, cu debite pînă la 10 m³/min și presiuni de 4—14 kgf/cm² pentru:

- Locomotive
- Troleibuze
- Instalații petroliere
- Șantiere
- Excavatoare
- Garaje
- Automatizări
- Vopsitorii



Motoare diesel cu puteri pînă la 100 CP pentru:

- Utilaje de construcții
- Utilaje pentru agricultură
- Pompe de uz general și speciale
- Generatoare de c.a. și c.c.
- Motoare și motoridicătoare
- Ambarcațiuni
- Utilaje pentru silvicultură

Pentru rezolvarea problemelor dv. privind antrenarea cu motoare diesel industriale și utilizarea compresoarelor de aer cu piston — consultați specialiștii uzinei „Timpuri Noi"

1970 APR 1

INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Din Bucureşti — Bd. T. Vladimirescu 45—47 — telefon 31.41.00.

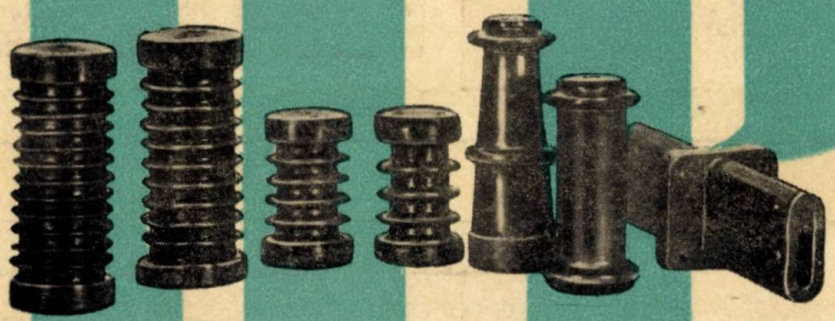
Электротехнический Научно-исследова тельский и Проектный Институт

Electrical Engineering and Research Institute

Forschungs-und Proiectierungsinstitut für die Elektroindustrie

Forschungs—und Proiectierungsinstitut für die Electroindustrie.

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Electrotechnique



Primeşte comenzi de cercetare şi proiectare, cu profil electrotehnic.

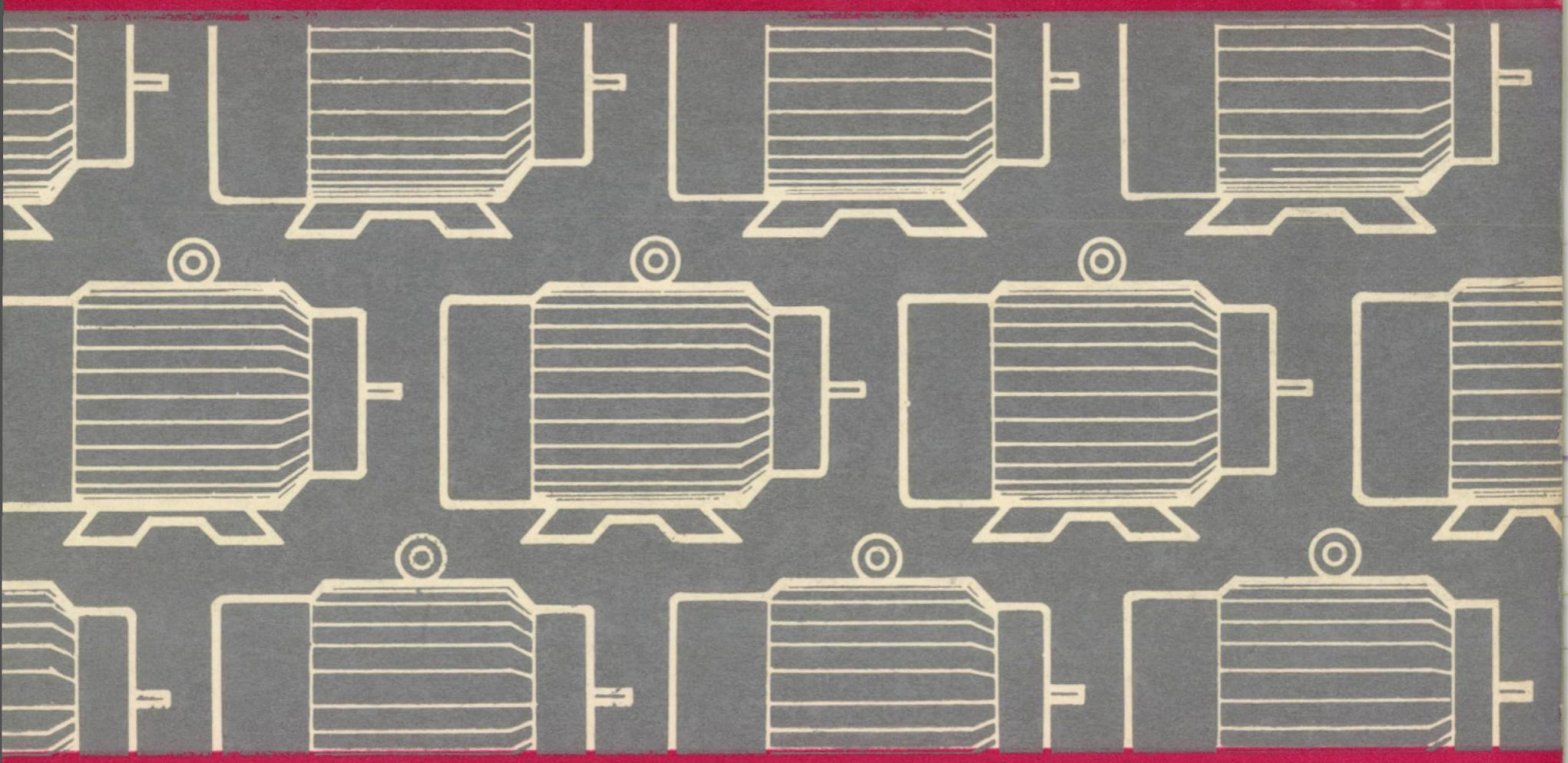
Institutul execută studii, încercări, omologări şi prototipuri din domeniul maşinilor şi transformatoarelor electrice, aparatelor de joasă şi înaltă tensiune, acţionărilor electrice, climatizării produselor industriale. calculelor cu maşini electronice, materialelor electrotehnice.

= 2040

R

EXTERÁLVA

ELECTROTEHNICA



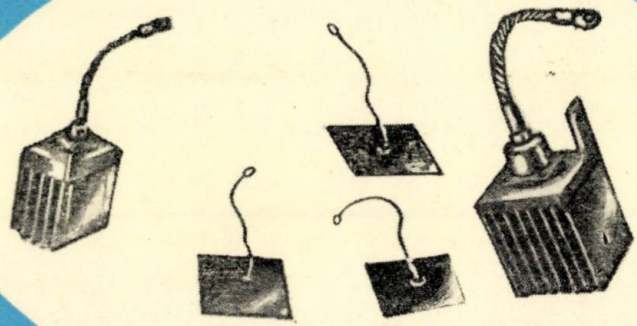
12

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 17 • Nr. 12 • DECEMBRIE 1969

IPRS Băneasa

ÎNTREPRINDEREA PIESE RADIO ŞI DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae, nr. 32
sector 2
telefon 33.38.30 • telex 011203



Produce:

PIESE RADIO:

Rezistenţe fixe cu peliculă de carbon
Rezistoare bobinate
Termistoare
Condensatoare cu poliester
Condensatoare electrolitice normale
Condensatoare electrolitice miniatură
Condensatoare ceramice
Condensatoare hîrtie — uz general
Condensatoare hîrtie metalizate
Condensatoare telefonice
Condensatoare auto
Condensatoare pentru tuburi fluorescente
Cablaje imprimate

DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE:

Transistoare cu germaniu de joasă frecvenţă
— de mică putere
— de medie putere
— de putere
Transistoare cu germaniu de înaltă frecvenţă
— de mică putere
— drift de mică putere
Diode cu germaniu cu contact punctiform
Redresoare cu germaniu de medie putere
Fotodiode cu germaniu
Diode redresoare cu siliciu
— de mică putere
— de putere
Diode Zener de mică putere

Pentru informaţii suplimentare consultaţi cataloagele noastre

ELECTROTEHNICA

Anul 17 Nr. 12, 441—480 decembrie 1969

CUPRINS

CZ 621. 313. 322. 042, 13 : 621 3. 011. 3

Nedelcu, V. N. : **Aspecte noi ale teoriei mașinii sincrone cu poli aparenți**

Electrotehnica, **17** nr. 12, dec 1969, p. 441—447

Folosind metoda sinorilor reprezentativi, în lucrare este pus în evidență un parametru caracteristic al mașinii sincrone cu poli aparenți „inductanța ciclică complexă" care a fost denumită „complexanță". Prin intermediul acestui parametru se explică „fenomenul de reluctanță" cît și alte particularități funcționale ale acestei mașini.

CZ 621. 313. 1. 047, 621. 314. 63

Măgureanu, R. : **Mașini electrice cu comutație electronică**

Electrotehnica **17**, nr. 12, dec 1969, p. 447—455

Se face o prezentare a mașinilor cu comutație electronică, a caracteristicilor și performanțelor lor, a sistemelor de comandă și alimentare, a stadiului actual și perspectivelor de viitor. Sînt discutate diverse tipuri de mașini de mică putere, mașini de medie și mare putere, comutația fiind asigurată prin transistoare și respectiv tiristoare, domeniile de utilizare și șansele de înlocuire ale mașinilor clasice de curent continuu.

CZ 621. 313. 333 — 531.6 :621. 337. 522

Țopa, I. : **Reglarea vitezei motoarelor asincrone prin recuperarea energiei de alunecare pe cale mecanică**

Electrotehnica **17**, nr. 12, dec 1969, p. 455—461

Se prezintă schema echivalentă, expresiile curenților și cuplului pentru reglarea vitezei motorului asincron prin recuperarea energiei de alunecare pe cale mecanică utilizînd diode de putere cu siliciu. În final se expun rezultatele experimentale cînd motorul de recuperare este un motor de curent continuu cu excitație independentă și cînd posedă și o înfășurare serie.

CZ 621. 313. 32—721. 2 : 621. 372.1

Crăciunescu, A. și *Bucurenciu, S.* : **Folosirea metodelor de transfigurare la calculul circuitelor de ventilație ale mașini lor electrice**

Electrotehnica **17**, nr. 12, dec 1969, p. 461—466

Se examinează extinderea metodelor de transfigurare folosite pentru simplificarea calculelor circuitelor liniare, la circuitele cu neliniarități de tipul $y = Ax^m$. Se propune un procedeu iterativ foarte convergent pentru calculul parametrilor subrețelelor obținute prin transfigurarea triunghistea sau stea-triunghi. Se stabilesc relații orientative pentru valorile inițiale ale parametrilor de la care trebuie să se pornească calculul iterativ. Folosind procedeul propus, se efectuează calculul circuitului de ventilație al unui turbogenerator sincron de 60 MVA răcit cu hidrogen.

CZ 621. 313. 333.1—573 : 621. 3. 077. 14

Turcu, I. : **Cu privire la calculul rezistențelor de pornire la motorul trifazat de inducție cu inele**

Electrotehnica **17**, nr. 12, dec 1969, p. 466—470

Se stabilește o metodă de calcul pentru determinarea rezistențelor adiționale din rotorul motorului de inducție trifazat cu inele, astfel ca pornirea să se facă cu accelerație variabilă și șocuri mici. Metoda are aplicare la podurile rulante care transportă metal lichid sau sarcini la care se necesită un balans redus, precum și la toate acționările la care se impune o pornire lină fără șocuri mari.

RECENZII 471
REFERATE 472—475
SCURTE ȘTIRI 475
SUMAR ȘI INDEX ALFABETIC DE AUTORI 476—480

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621. 313. 322. 042. 13 : 621. 3. 011. 3

Неделку, В. Н.: **Новые аспекты теории синхронной машины с кажущимися полюсами**

Electrotehnica **17** №. 12, дек 1969, стр. 441–447

Применяя метод репрезентативных синоров в работе отмечается характерный параметр синхронной машины с кажущимися полюсами ,,комплексная циклическая индуктивность'', которую наименовали ,,комплексация''. Посредством этого параметра объясняется ,,явление сопротивления'', а также и другие функциональные особенности этой машины.

ДК 621. 313. 1. 047 : 621. 314. 63

Мэгуряну, Р.: **Электрические машины с электронной коммутацией**

Electrotehnica **17** №. 12, дек 1969, стр. 447–455

Проводится обзор машины с электронной коммутацией, их характеристики и показателей, систем управления и питания, актуальной стадии и дальнейших перспектив. Обсуждаются различные типы машин малой мощности, машин средней и высокой мощности, при обеспечении коммутации посредством транзисторов и соответственно тиристоров, область использования и перспективы замены классических машин постоянного тока.

ДК 621. 313. 333–531. 6 : 621. 337. 522

Цопа, И.: **Регулирование скорости асинхронных двигателей возвращением энергии скольжения механическим путем**

Electrotehnica **17** №. 12, дек 1969, стр. 455–461

Приводятся эквивалентная схема, уравнения токов и момента для регулирования скорости асинхронного двигателя рекуперацией энергии скольжения механическим путем, применяя силиконные диоды мощности. В заключение излагаются экспериментальные результаты в том случае, когда двигатель возвращения является двигателем постоянного тока с независимым возбуждением и когда он имеет серийную обмотку.

ДК 621. 313. 32–712, 2 :621. 372. 1

Крэчунеску, А. и *Букуренчу, С.:* **Применение метода преобразования при расчете цепей вентиляции электрических машин**

Electrotehnica **17** №. 12, дек 1969, стр. 461–466

Рассматривается возможность распространения методов преобразования, применяемых для упрощения расчета линейных цепей, на нелинейные цепи типа $y = Ax$.[M] Предлагается итеративный способ высокой конвергенции для расчета параметров подсетей, плолученных путем преобразования треугольника-звезды или уведзды-треугольника. Устанавливаются ориентировочные соотношения для исходных величин параметров, от которых нужно начинать итеративные вычисления. Применение этого способа позволит произвести расчет цепи вентиляции синхронного турбогенератора в 60 мва с бодородным охлаждением.

ДК 621 313. 333. 1–573 : 621. 3. 077. 14

Туркy, И.: **К расчету пусковых сопротивлений трехфазного индукционного двигателя с кольцами**

Electrotehnica **17** №. 12, дек 1969, стр. 466–470

В работе установлен метод расчета для определения добавочных сопротивлений якоря трехфазного индукционного двигателя с кольцами таким образом, чтобы его пуск осуществлялся с переменным ускорением и малыми толчками. Метод применяется к мостовым кранам, предназначенным для транспортирования жидких металлов или нагрузок, с ограниченным качением, а также для всех приводных механизмов, к которым предъявляются требования плавного пуска без чувствительных толчков.

РЕЦЕНЗИИ 471

ДОЛКАДЫ 472–475

КРАТКИЕ СООБЩЕНЯ 475

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТДЛЬ 476–480

INHALT

DK 621. 313. 322. 042. 13 : 621. 3. 011.3

Nedelcu, V. N.: **Neue Aspecte der Theorie der Aussenpol-Synchronmaschinen**

Electrotehnica **17.** H. 12, Dez. 1969, S. 441–447

Im Aufsatz wird ein kennzeichnender Parameter der Aussenpol-Synchronmaschine die „komplexe zyklische Induktanz" hervorgehoben, die die Bezeichnung „Komplexenz" trägt. An Hand dieses Parameters werden die Reluktanzerscheinung und andere Betriebseigenheiten dieser Maschinen erläutert.

DK 621. 313. 1. 047 :621. 341. 63

Măgureanu, R.: **Elektrische Maschinen mit elektronischer Umschaltung**

Electrotenica **17.** H. 12, Dez, 1969, S. 447–455

Der Verfasser beschreibt die Maschinen mit elektronischer Umschaltung, deren Kenndaten und Leistungen und die Schalt-und Speisungselemente und gibt einen Überblick über den gegenwärtigen Stand und die Zukunftsperspektiven auf diesem Gebiet. Es werden verschiedene Typen von Maschinen mit kleiner, mittlerer und hoher Leistung erörtert, bei denen die Umschaltung durch Transistoren bzw. Tiristoren erfolgt. Ferner werden die Anwendungsbereiche und die Möglichkeiten, die herkömmlichen Gleichstrommaschinen durch diese Typen zu ersetzen, dargelegt.

DK 621. 313. 333–531.6 :621. 337. 522

Ţopa, I. **Geschwindigkeitsreglung bei Asynchronmotoren durch die mechanische Rückgewinnung der Gleitenergie**

Electrotehnica **17.** H. 12, Dez, 1969. S. 455–461

Der Aufsatz enthält eine Darlegung des gleichwertigen Schemas, der Ausdrücke für die Ströme und den Drehmoment zur Geschwindigkeitseinstellung der Asynchronmotoren durch die mechanische Rückgewinnung der Gleitenergie mit Hilfe von Leistungsdioden mit Silizium. Abschliessend sind die Versuchsergebnisse für den Fall angegeben, dass der Rückgewinnungsmotor ein Gleichstrommotor mit Fremderregung ist und auch über eine Serienwicklung verfügt.

DK 621. 313. 32–712. 2 : 621. 372.1

Crăciunescu, A. und Bucurenciu, S.: **Anwendung der Transfigurationsmethoden bei die Berechnung der Ventilationsleitungen der elektrischen Maschinen**

Electrotehnica **17.** H. 12, Dez. 1969. S. 461–466

Es wird die Ausweitung der Transfigurationsmethoden analysiert, die zur Vereinfachung der Berechnung linearer Kreise und der Kreise mit Nichtlinearität Typ $y = Ax^m$ angewandt werden. Es wird ein Iterativverfahren vorgeschlagen, das äusserst konvergent für die Berechnung der Parameter der Hilfsnetze ist, die durch die Transfiguration Dreieck-Stern oder Stern-Dreieck erzielt wurden. Es werden richtungsweisende Beziehungen für die ursprünglichen Werte der Parameter festgelegt, von denen die Iterativberechnung ausgehen muss. Mit Hilfe des vorgeschlagenen Verfahrens wird die Ventilationseitung eines Synchron-Turbogenerators von 60 MVA mit Wasserstoffkühlung berechnent.

DK 621.313.333.1–573:621.3.077.14

Turcu, I.: **Über die Berechnung der Anlaufwiderstände bei Indusktionsmotoren mit Schleifringläufern**

Electrotehnica **17.** nr. 12 Dez. 1969 p. 466–470

Der Verfasser stellt eine Berechnungsmethode für die Ermittlung der Läuferzusatzwiderstände für Induktionsmotoren mit Schleifringläufern auf, wodurch ein sanftes, ruckloses Anlaufen mit veränderlicher Beschleunigung möglich ist. Der Anwendungsbereich dieses Verfahrens liegt hauptsächlich bei Hebezeug für Schmelzgut oder andere Lasten, die nur eine geringe Pendelbewegung erlauben, wie bei allen Antrieben, die ein sanftes Anlaufen mit geringstem Ruck erfordern.

BUCHBESPRECHUNGEN 471
REFERATE 472–475
KURZNACHRICHTEN 475
ALPHABETISCHES VERZEICHNIS 746–480

SOMMAIRE

CD 621. 313. 322. 042. 13 : 621. 3. 011. 3

Nedelcu, E. N : **Nouveaux aspects de la théorie de la machine synchrone à pôles apparents.**

Electrotehnica **17.** no. 12, dec 1969, p. 441–447

En utilisant la méthodes des synores représentatifs, on met en évidence dans cet ouvrage, un paramètre caractéristique de la machine synchrone à pôles apparents, et notamment ,,l'inductance cyclique complèxe'' à laquelle on a donné le nom de ,,complexance''. Par l'intermède de ce paramètre on explique le ,,phénomène de relactance'' ainsi que d'autres particularités fonctionnelles de cette machine.

CD 621. 313. 1. 047 : 621. 314. 63

Măgureanu, R. : **Machines électriques à commutation électronique.**

Electrotehnica **17.** no. 12, dec 1969, p. 447–455

On présente les machines à commutation électronique, leurs caractéristique et leurs performances, leurs systèmes de commande et d'alimentation, le stade actuel et les perspectives d'avenir. On examine différents types des machines à petites puissances, des machines à moyenne et grande puissance, la commutation étant assurée par des transistors et respectivement par des tyristors, les domaines d'utilisation ainsi que les possibilités de remplacer par ces machines, les machines classiques de courant continu.

CD 621. 313. 333–531. 6 : 621. 337 522

Ţopa, I. : **Le reglage de la vitesse des moteurs synchrones par récuperation de l'énergie de glissage par voie mécanique.**

Electrotehnica **17.** no. 12, dec 1969, p. 457–461

On présente le schéma équivalent, les expressions des courants et du couple pour le reglage de la vitesse du moteur synchrone, par récupération de l'énergie de glissage par voie mécanique, en utilisant des diodes de puissance à silicium. A la fin de l'article on expose les résultats expérimentaux obtenus lorsque le moteur de récupération est un moteur à courant continu à excitation independente et lorsqu'il possède aussi un enroulement série.

CD 621. 313. 32 – 712. 2 : 621, 372. 1

Crăciunescu, A et *Bucurenciu, S.* : **L'utilisation des méthodes de transfiguration pour le calcul des circuits de ventilation des machines électriques.**

Electrotehnica **17.** no. 12, dec 1969, p. 461–466

On examine l'extension des méthodes de transfiguration utilisées en vue de simplifier les calculs des circuits linéaires, aux circuit à non-linéarité du type $y = Ax^m$. On propose un procédé itératif très convergent pour le calcul des paramètres des sous-réseaux obtenus par la transfiguration triangle-étoile ou bien étoile-triangle. On établit des relations orientatives pour les valeurs initiales des paramètres, à partir desquelles doit commencer le calcul itératif. En utilisant le procédé proposé, on effectue le calcul du circuit de ventilation d'un turbogénérateur synchrone de 60 MVA, refroidé au hydrogène.

CD 621. 313. 333. 1–573 : 621. 3. 077. 14

Turcu, I. : **Considérations concernant le calcul des résistances de démarrage du moteur triphasé d'induction à anneaux.**

Electrotehnica **17.** no. 12, dec 1969, p. 466–470

On établit une méthode de calcul pour la détermination des résistences additionnelles qui se trouvent dans le roteur du moteur d'induction triphasé à anneaux, pour que le démarrage l'effectue avec une accélération variabile et de petits chocs. La méthode peut être appliquée aux ponts roulants qui transportent du métal liquide ou des charges auxquelles un balancement réduit est necessaire, ainsi qu'à toutes les manoeuvres qui requerent un demarrage lent et sans grands chocs.

COMPTES-RENDUS 471
RÉFÉRATS 472–475
BRÈVES COMMUNICATIONS 475
INDEX ALPHABÉTIC 476–480

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 17 nr. 12 București, decembrie, 1969

Aspecte noi ale teoriei mașinii sincrone cu poli aparenți

VASILE N. NEDELCU* — BUCUREȘTI

CZ 621. 313. 322. 042. 13. 621. 3. 011. 3

Teoria mașinii sincrone cu poli aparenți capătă forma sa modernă o dată cu apariția lucrărilor lui Park [1]. După această perioadă toate monografiile și lucrările de cercetare consacrate acestui subiect au ca bază ecuațiile Park [2] — [17]. De aceea se poate afirma fără exagerare că, sub impulsul teoriei mașinii sincrone cu poli aparenți teoria generală a mașinilor electrice cunoaște o perioadă de intensă dezvoltare. Astfel, în același timp cu aplicarea teoriei celor două reacții la studiul celor mai variate regimuri de funcționare ale mașinii sincrone, o atenție considerabilă și permanentă a fost acordată în literatura tehnică dezvoltării matematice a teoriei mașinilor electrice. În acest sens, actualmente, este unanim recunoscută contribuția majoră a lui Gabriel Kron [17].

Cu toate acestea, teoria actuală a mașinii sincrone cu poli aparenți, probabil și datorită învelișului său matematic, nu este capabilă să asigure o explicație fizică satisfăcătoare a unor fenomene care se desfășoară în această mașină. Astfel, după cum s-a arătat și în alte lucrări ale autorului [18] — [19], teoria celor două reacții nu poate exprima corect puterea reactivă schimbată de mașină cu rețeaua în cazul unui regim general de funcționare. De asemenea, unul din cele mai interesante fenomene caracteristice acestei mașini — fenomenul de reluctanță — nu a găsit pînă în prezent o explicație corespunzătoare.

Lucrarea de față își propune să scoată în evidență unele laturi noi ale proceselor electromagnetice care se desfășoară în mașina sincronă cu poli aparenți. În acest scop va fi utilizat conceptul de „sinor spațialo — temporal reprezentativ" [19]. Urmînd această procedură a fost pus în evidență un parametru caracteristic al acestei mașini denumit „complexanță" și a putut fi stabilită „diagrama fazorială a puterii aparente".

*Dr. ing. *V. N. Nedelcu* este profesor titular la disciplina mașini electrice, secția Electroenergetică din Institutul politehnic. — București.

Mașina sincronă de referință

Drept mașină sincronă de referință va fi considerată mașina reprezentată în figura 1. Este admisă ipoteza mașinii idealizate în sens Park. Se consideră, de asemenea că, mașina funcționează în paralel cu un sistem de putere infinită în regim supraexcitat la tensiune constantă la bornele înfășurării de excitație (u_f = const). Axele a, b, c reprezintă axele magnetice ale înfășurărilor statorului.

Ecuația matricială de tensiuni

Dacă se consideră regula dipolului generator pentru alegerea sensului de referință al mărimilor electrice și magnetice, asociate cu circuitele statorului și regula dipolului receptor pentru circuitul de excitație, se aplică teorema a II-a Kirchhoff conturului fiecărui circuit al mașinii ($n = a, b, c, f$) în raport cu sistemul holonomic de coordonate se obține forma matricială a ecuației de tensiuni :

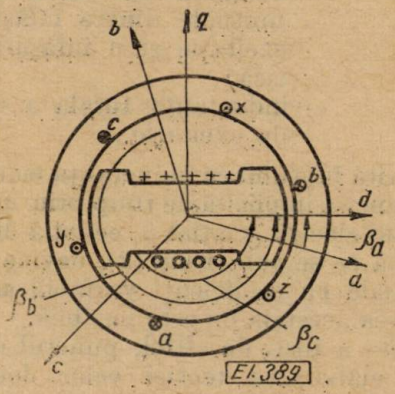


Fig. 1. Schema mașinii sincrone de referință.

$$[u_n] = [e_n] - [R_n][i_n] = -D[\psi_n] - [R_n][i_n], \quad (1)$$

unde :

$[u_n]$, $[e_n]$, $[\psi_n]$, $[i_n]$ sînt matricele coloană ale valorilor instantanee ale tensiunilor la borne, t.e. m., fluxurilor rezultante și curenților ;

$[R_n]$ — matricea diagonală a rezistențelor ;

$D = d/dt$ — operatorul derivațional de timp.

Pe de altă parte, matricea fluxurilor rezultante poate fi corelată cu matricea curenților prin intermediul matricei de inductanță $[l(\beta)]$:

$$[\psi_n] = [l(\beta)]\,[i_n], \tag{2}$$

unde $[l(\beta)]$ are expresia [19] :

$$[l(\beta)] = \begin{array}{c|cccc} & a & b & c & f \\ \hline a & L' + L'_2\cos 2\beta & -M + L'_2\cos(2\beta-\rho) & -M + L'_2\cos(2\beta+\rho) & -M_d\cos\beta \\ b & -M + L'_2\cos(2\beta-\rho) & L' + L'_2\cos(2\beta+\rho) & -M + L'_2\cos 2\beta & -M_d\cos(\beta-\rho) \\ c & -M + L'_2\cos(2\beta+\rho) & -M + L'_2\cos 2\beta & L' + L'_2\cos(2\beta-\rho) & -M_d\cos(\beta+\rho) \\ f & M_d\cos\beta & M_d\cos(\beta-\rho) & M_d\cos(\beta+\rho) & -L_f \end{array} \tag{3}$$

cu :

$$L' = 1/2\cdot[L'_d + L'_q)\,;\quad L'_2 = 1/2[L'_d - L'_q)\,;$$
$$M = 1\cdot 2/L', \tag{4}$$

în care :

L'_d, L'_q sînt inductanțele longitudinală și transversală ;

M_d — valoarea maximă a inductanței mutuale dintre înfășurarea de excitație și o înfășurare statorică ;

L_f — inductanța totală a circuitului de excitație.

Datorită faptului că inductanța matricială (3) este o funcție implicită de timp prin intermediul unghiului electric spațial β, ecuația diferențială (1), după ce se substituie (2), devine o ecuație diferențială cu coeficienți variabili astfel încît rezolvarea acesteia nu este posibilă.

Aceasta a fost, de altfel, punctul de plecare pentru elaborarea teoriei celor două reacții a mașiini sincrone cu poli aparenți (teoria Park) indisolubil legată de problema transformării de coordonate.

Forma sinorială a ecuațiilor de tensiuni

Spre deosebire de metodele analitice cu ajutorul cărora se efectuează schimbări de variabile introducerea sinorilor reprezentativi permite, pe de o parte, simplificarea calculelor, iar pe de altă parte, controlul mașinii ca un tot unitar, adică prin intermediul unei singure ecuații diferențiale : ecuația sinorială de tensiuni. În acest mod mărimile instantanee trifazate sînt reprezentate simbolic printr-un sinor corespunzător, astfel încît forma generală a ecuației de tensiuni este similară celei uzuale.

Ecuația sinorială de tensiuni poate fi obținută din relația (1) multiplicînd fiecare ecuație m a statorului ($m = a, b, c$) cu operatorul de deplasare $2/3\cdot\alpha_m$, apoi însumînd ambele părți ale ecuațiilor. Acest procedeu conduce la ecuația :

$$\underline{u} = \underline{e} - R\,\underline{i} = -D\,\underline{\psi} - R\,\underline{i}, \tag{5}$$

unde $\underline{u}$, $\underline{e}$, $\underline{\psi}$, $\underline{i}$ sînt sinorii reprezentativi ai mărimilor statorice trifazate corespunzătoare. Expresiile sinorilor reprezentativi în raport cu sistemul de coordonate α_s, β_s solidar cu statorul, astfel încît axa α_s se confundă cu axa înfășurării fazei (a) iar β_s este decalată la $\pi/2$ radiani electrici înainte față de axa α_s, sînt :

$$\underline{u} = 2/3\cdot\sum_m \alpha_m u_m = \hat{u}e^{j\alpha}\,;\quad \underline{e} = 2/3\cdot\sum_m \alpha_m e_m = \hat{e}e^{j\gamma}\,;$$
$$\underline{\psi} = 2/3\cdot\sum_m \alpha_m \psi_m = \hat{\psi}e^{j\varepsilon}\,;\quad \underline{i} = 2/3\cdot\sum_m \alpha_m i_m = \hat{i}\,e^{j\lambda}, \tag{6}$$

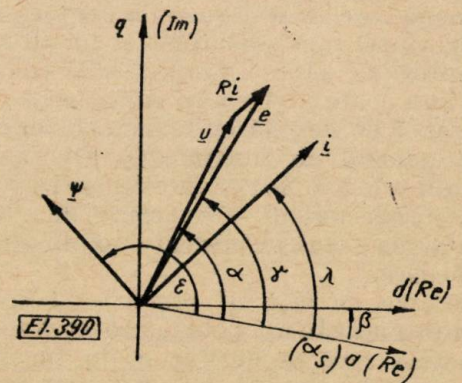


Fig. 2. Diagrama sinorială de tensiuni în regim generalizat.

unde $\hat{u}$, $\hat{e}$, $\hat{\psi}$, $\hat{i}$ sînt amplitudinile, iar α, γ, ε, λ — fazele acestor sinori și α_m — operatorul simetric de deplasare

$$\alpha_m = e^{j\rho_m}, \tag{7}$$

în care

$\rho_a = 2\pi$; $\rho_b = \rho$; $\rho_c = 2\rho$ ($\rho = 2/3$ rad. el.),

adică α_m reprezintă rădăcinile ecuaţiei de ordinul 3, $x^3 - 1 = 0$.

În figura 2 este reprezentată ecuaţia (5) pentru cazul general al regimului de funcţionare. În acest caz sinorul t.e.m. e este tangenta cu semn negativ la locul geometric descris de vîrful sinorului $\underline{\psi}$ în fiecare punct al acestuia. Proiecţiile sinorilor reprezentativi pe axele magnetice ale circuitelor în orice moment sînt egale cu valorile instantanee ale mărimilor în faza considerată.

Regimul permanent de funcţionare

Pentru regimul permanent de funcţionare ecuaţia generală sinorială (5) devine

$$\underline{u} = \underline{e} - R\,\underline{i} = -j\,\omega\,\underline{\psi} - R\,\underline{i} \qquad (8)$$

deoarece, în sistemul α_s, β_s, pentru acest regim, operatorul D trebuie înlocuit cu $j\,\omega$. Rezistenţa R va fi neglijată astfel încît (8) poate fi retranscrisă

$$\underline{u} = \underline{e} = -j\,\omega\,\underline{\psi}. \qquad (8')$$

Relaţia (8') arată că independent de condiţiile de regim, metrica sinorului ($\underline{\psi}$) (adică modulul şi faza acestuia) este impusă de sinorul $\underline{u}$, atît timp cît statorul este conectat la o sursă de putere infinită.

Ecuaţia (8') este reprezentată geometric în figura 3. În regim permanent simetric de funcţionare sinorii reprezentativi se confundă cu sinorii mărimilor fazei (a).

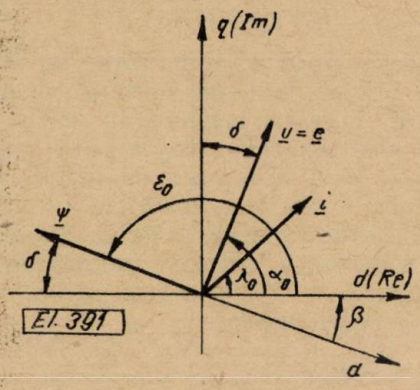


Fig. 3. Reprezentarea geometrică a sinorilor $\underline{u}$, $\underline{e}$, $\underline{\psi}$, $\underline{i}$ în regim permanent.

Astfel, după cum rezultă din figura 3 expresiile acestor sinori sînt:

$$\underline{u} = \hat{U}\,e^{j\alpha} = \hat{U}\,e^{j(\pi/2-\delta+\beta)}; \quad \underline{i} = \hat{I}\,e^{j\lambda}, \qquad (9)$$

respectiv

$$\underline{\psi} = \hat{\Psi}\,e^{j\varepsilon} = \hat{\Psi}\,e^{j(\alpha+\pi/2)} = \hat{\Psi}\,e^{j(\pi-\delta+\beta)}, \qquad (10)$$

unde $\hat{\Psi} = \hat{U}/\omega$.

Sinorul fluxurilor rezultante

Sinorul $\underline{\psi}$ poate fi corelat cu sinorul $\underline{i}$. În acest scop trebuie considerate relaţiile (9), (2). După efectuarea tuturor operaţiilor matematice în raport cu sistemul α_s, β_s se ajunge la

$$\underline{\psi} = \underline{\psi}_a + \underline{\psi}_{sf}, \qquad (11)$$

unde $\underline{\psi}_a$ este sinorul reprezentativ al fluxului de reacţie al statorului

$$\underline{\psi}_a = L\,\underline{i} + L_2\,\underline{i}^*\,e^{2j\beta}, \qquad (12)$$

unde

$$L = 1/2\cdot(L_d + L_q); \quad L_2 = 1/2\cdot(L_d - L_q), \qquad (13)$$

L_d, L_q fiind inductanţele ciclice:

$$L_d = 3/2\,L'_d; \quad L_q = 3/2\,L'_q.$$

Corespunzător, $\underline{\psi}_{sf}$ reprezintă fluxul mutual statoric

$$\underline{\psi}_{sf} = -M_d\,i_f\,e^{j\beta}. \qquad (14)$$

Dacă se consideră expresia sinorului $\underline{i}$ (9) şi relaţia dintre acesta şi complexul său conjugat $\underline{i}^*$

$$\underline{i}^* = \underline{i}\,e^{-j2\lambda} \qquad (15)$$

expresia (12) devine:

$$\underline{\psi}_a = \hat{\Psi}_a\,e^{j\lambda} = \underline{l}\,(\lambda_0)\,i = \{\underline{l}\,(\lambda_0)\,\hat{I}\}\,e^{j\lambda}, \qquad (16)$$

unde

$$\underline{l}\,(\lambda_0) = L + L_2\,e^{-j2\lambda_0} = l\,(\lambda_0)\,e^{-j\lambda'_0};$$

$$\hat{\underline{\Psi}}_a = \underline{l}\,(\lambda_0)\,\hat{I} = \hat{\Psi}_a e^{-j\lambda'_0}. \qquad (17)$$

Inductanţa complexă $\underline{l}\,(\lambda_0)$ nu a fost cunoscută pînă în prezent şi fiind un parametru caracteristic al maşinii sincrone cu poli aparenţi va fi denumit drept „complexanţă". După cum rezultă din examinarea relaţiei (16) sinorul $\underline{\psi}_a$, datorită acestei inductanţe, este defazat în urma sinorului $\underline{i}$ cu defazajul λ'_0. Acest defazaj dintre sinorii $\underline{\psi}$ şi $\underline{i}$ explică unele particularităţi importante ale funcţionării maşinii sincrone cu poli aparenţi. Astfel, poate fi explicat faptul că sinorul căderii de tensiune datorită fluxului de reacţie a indusului în regim permanent de funcţionare nu este în quadratură faţă de sinorul de curent. De asemenea, acest defazaj explică fenomenul de reluctanţă întîlnit la această maşină, adică posibilitatea acesteia de a opera un transfer de putere prin intermediul fluxului propriu.

Este interesant de a pune în evidenţă cele două componente ale fluxului $\underline{\psi}_a$. În acest scop va fi considerată relaţia (16)

$$\underline{\psi}_a = \underline{\psi}_{a0} + \underline{\psi}_{a2} = \hat{\underline{\Psi}}_a\,e^{j\lambda}, \qquad (18)$$

unde $\hat{\underline{\Psi}}_a$ este amplitudinea complexă (17) și $\underline{\psi}_{a0}$ — componenta în fază cu sinorul $\underline{i}$

$$\underline{\psi}_{a0} = L\,\underline{i}, \tag{18'}$$

iar $\underline{\psi}_{a2}$ — componenta defazată în urma sinorului $\underline{i}$ cu unghiul $-2\lambda_0$

$$\underline{\psi}_{a2} = L_2\,\underline{i}\,e^{-j2\lambda_0}. \tag{18''}$$

Sinorii reprezentativi pot fi raportați la sistemul d, q de coordonate. În acest caz vor fi utilizați indicii F (forward) și B (backward) pentru a caracteriza sinorii și respectiv mărimile complex conjugate ale acestora în raport cu sistemul d, q.

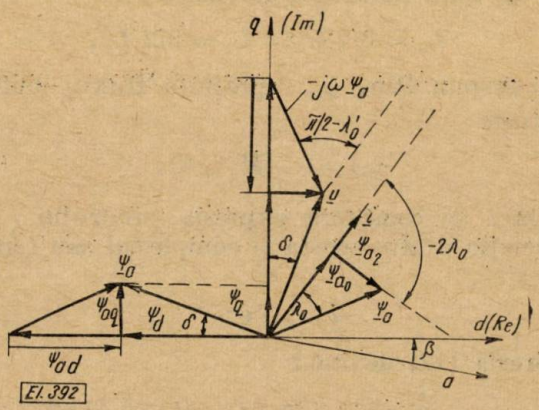


Fig. 4. Reprezentarea geometrică a sinorilor $\underline{u}$, $\underline{e}$, $\underline{\psi}$, $\underline{\psi}_a$, $\underline{\psi}_{a0}$, $\underline{\psi}_{a2}$, $\underline{\psi}_{sf}$.

Astfel, dacă se consideră (6), respectiv (9), (10), se obține:

$$\underline{u}_F = \underline{u}\,e^{-j\beta} = u_d + j\,u_q = \hat{U}\,e^{j(\alpha-\beta)} = \hat{U}\,e^{j\alpha_0}, \tag{19}$$

$$\underline{i}_F = \underline{i}\,e^{-j\beta} = i_d + j\,i_q = \hat{I}\,e^{j(\lambda-\beta)} = \hat{I}\,e^{j\lambda_0}, \tag{20}$$

$$\underline{\psi}_F = \underline{\psi}\,e^{-j\beta} = \psi_d + j\,\psi_q = \underline{\psi}_{aF} + \underline{\psi}_{sfF} =$$

$$= \hat{\Psi}\,e^{j\varepsilon_0} = \hat{\Psi}\,e^{j(\pi-\delta)} \tag{21}$$

unde:

$$\underline{\psi}_{aF} = \psi_{ad} + j\,\psi_{aq} = L\,\underline{i}_F + L_2\,\underline{i}_B, \tag{21'}$$

$$\underline{\psi}_{sfF} = -M_d\,i_f, \tag{21''}$$

și

$$i_B = i_d - j\,i_q. \tag{20'}$$

Componentele d, q ale sinorului $\underline{\psi}_F$ rezultă:

$$\psi_d = -M_d\,i_f + \psi_{ad}; \quad \psi_q = \psi_{aq}, \tag{22}$$

unde

$$\psi_{ad} = L_d\,i_d; \quad \psi_{aq} = L_q\,i_q. \tag{22'}$$

În figura 4 sînt reprezentați sinorii $\underline{u}$, $\underline{i}$, $\underline{\psi}$, $\underline{\psi}_a$, cît și diagrama sinorială de tensiuni. Este ușor de observat din această diagramă că sinorul căderii de tensiune, datorită fluxului de reacție a indusului ($-j\omega\underline{\psi}_a$) poate fi descompus în componentele d, q conform relației:

$$-j\omega\underline{\psi}_a = -(j\omega\underline{\psi}_{aF})\,e^{j\beta} = (X_q\,i_q - j\,X_d\,i_d)\,e^{-\beta}, \tag{23}$$

unde X_d, X_q sînt reactanțele ciclice sincrone.

Este, de asemenea, de observat că acest sinor este defazat în urma sinorului $\underline{i}$ cu defazajul $\pi/2 + \lambda_0'$.

Sinorul reprezentativ de curent

În realitate mașina considerată este o mașină cu dublă alimentare sau cu dublă excitație. În acest caz sistemul de tensiuni statoric și tensiunea de excitație sînt surse de fluxuri magnetice. Aceste fluxuri magnetice sînt impuse de tensiunile aplicate la bornele înfășurărilor și, deci, pentru întreținerea lor prin înfășurări trebuie să circule curenți. Valorile acestor curenți depind de inductivitățile înfășurărilor iar variația acestora în timp este determinată de condiția de a asigura legea de variație a fluxurilor, impusă de sistemele de tensiuni. Din această cauză stabilirea dependenței variației curenților în funcție de fluxurile rezultate înlănțuite cu spirele înfășurărilor constituie o problemă foarte importantă. În acest scop va fi utilizată relația (2). Astfel, dacă (2) se multiplică din stînga cu $[l(\beta)]^{-1}$, se obține

$$[i_n] = [g(\beta)]\,[\psi_n], \tag{24}$$

unde $[g(\beta)]$ este reciproca inductanței $[l(\beta)]$

$$[g(\beta)] = [l(\beta)]^{-1}. \tag{25}$$

Mărimea reciprocă inductanței nu este utilizată în literatură. După cum se va arăta în continuare, această mărime în cazul teoriei mașinilor electrice are o importantă semnificație fizică și va fi denumită drept „fluxanță". În consecință mărimea matricială (25) va fi denumită drept „fluxanța matricială a mașinii".

După efectuarea tuturor operațiilor matematice dictate de (25) și considerarea expresiei sinorului $\underline{i}$ se ajunge la

$$\underline{i} = 2/3 \cdot \sum_m \alpha_m\,i_m = \underline{i}_s + \underline{i}_{sf}, \tag{26}$$

unde $\underline{i}_s$ este curentul datorit fluxului statoric

$$\underline{i}_s = g\,\underline{\psi} - g_2\,e^{j2\beta}\,\underline{\psi}^* \tag{27}$$

în care $\underline{\psi}$, $\underline{\psi}^*$, sînt sinorul fluxurilor rezultante statorice și complexul său conjugat;

g, g_2 — fluxanțe

$$g = 1/2 \cdot (G_q + G_d); \quad g_2 = 1/2 \cdot (G_q - G_d), \tag{27'}$$

unde G_d, G_q sînt fluxanțele ciclice longitudinală și transversală

$$G_d = 2/3 \cdot G_d'; \quad G_q = 2/3 \cdot G_q'. \tag{27''}$$

Componenta $\underline{i}_{sf}$ din (26) reprezintă curentul din stator dictat de fluxul înfășurării de excitație

$$\underline{i}_{sf} = G_d G_f M_d \hat{\Psi}_f e^{j\beta} = \underline{i}_{k0} \quad (28)$$

și i_{k0} reprezintă curentul de scurtcircuit simetric trifazat în gol

$$\underline{i}_{k0} = \hat{I}_{k0} e^{j\beta}, \quad (28')$$

unde amplitudinea $\hat{I}_{k0}$ are valoarea

$$\hat{I}_{k0} = \frac{1}{L_d} \cdot \frac{1}{L_f} \cdot \hat{\Psi}_f M_d = \hat{E}_0 / X_d, \quad (28'')$$

$\hat{E}_0$ fiind amplitudinea t.e.m. indusă în înfășurările statorului de fluxul inductor la funcționarea în gol.

Expresia sinorului $\underline{i}_s$ (27) poate fi transformată dacă se consideră relația

$$\underline{\psi}^* = \underline{\psi} e^{-j2\varepsilon} \quad (29)$$

astfel încît (27) devine:

$$\underline{i}_s = \underline{g}(\delta) \underline{\psi} = \underline{\hat{i}}_s(\delta) e^{j\varepsilon} = \underline{i}_{s0} + \underline{i}_{s2} \quad (30)$$

unde $\underline{g}(\delta)$ este inversa complexanței adică „fluxanța complexă":

$$\underline{g}(\delta) = g - g_2 e^{j2\delta} = g(\delta) e^{-j\delta'}, \quad (31)$$

în care g, g_2 au expresiile (27'), iar $\underline{\hat{i}}_s(\delta)$ este amplitudinea complexă a curentului

$$\underline{\hat{i}}_s(\delta) = \underline{g}(\delta) \hat{\Psi} = \hat{I}_{s0} - \hat{I}_{s2} e^{j2\delta} = \hat{i}_s(\delta) e^{-j\delta'}, \quad (32)$$

$\hat{I}_{s0}$, $\hat{I}_{s2}$, $\underline{\hat{i}}_s(\delta)$ fiind:

$$\hat{i}_s(\delta) = g(\delta) \check{\Psi}; \quad \hat{I}_{s0} = 1/2 \cdot (\hat{I}_q + \hat{I}_d);$$
$$\hat{I}_{s2} = 1/2 \cdot (\hat{I}_q - \hat{I}_d) \quad (32')$$

$\hat{I}_q$, $\hat{I}_d$ fiind:

$$\hat{I}_q = \hat{\Psi} G_q = \hat{U}/X_q; \quad \hat{I}_d = \hat{\Psi} G_d = \hat{U}/X_d. \quad (32'')$$

Componentele $\underline{i}_{s0}$, $\underline{i}_{s2}$ ale sinorului $\underline{i}_s$ au expresiile

$$\underline{i}_{s0} = g \underline{\psi} = \hat{I}_{s0} e^{j\varepsilon} \quad (33)$$

fiind în fază cu $\underline{\psi}$, iar $\underline{i}_{s2}$ este defazat în raport cu acesta cu unghiul 2δ

$$\underline{i}_{s2} = - g_2 e^{j2\delta} \underline{\psi} = - \hat{I}_{s2} e^{j2\delta} e^{j\varepsilon} = \hat{I}_{s2} e^{j\delta} e^{j\varepsilon}. \quad (34)$$

Datorită componentei $\underline{i}_{s2}$ sinorul $\underline{i}_s$ este defazat în urma sinorului $\underline{\psi}$ cu unghiul δ'.

În figura 5 sînt reprezentați sinorii $\underline{u}$, $\underline{\psi}$, $\underline{i}$, $\underline{i}_s$, $\underline{i}_{sf}$.

În raport cu sistemul de coordonate d, q sinorul $\underline{i}$ devine $\underline{i}_F$, respectiv, componentele sale $\underline{i}_{sF}$, $\underline{i}_{sfF}$

$$i_F = i e^{-j\delta} = \hat{I} e^{j\lambda_0} = i_d + j i_q = \underline{i}_{sF} + \underline{i}_{k0F}, \quad (35)$$

unde

$$\underline{i}_{sF} = i_{sd} + j i_{sq} = \hat{i}_s(\delta) e^{j(\pi - \delta'')} = \hat{I}_{s0} e^{j(\pi - \delta)} + \hat{I}_{s2} e^{j\delta}, \quad (36)$$

iar $\delta'' = \delta + \delta'$;

$$\underline{i}_{k0F} = \hat{I}_{k0}. \quad (37)$$

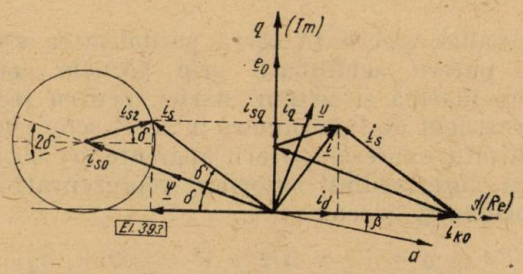


Fig. 5. Reprezentarea geometrică a sinorilor $\underline{u}$, $\underline{\psi}$, $\underline{i}$, $\underline{i}_{s0}$, $\underline{i}_s$, $\underline{i}_{s2}$, $\underline{i}_{sf}$.

Separînd componentele d, q se obține:

$$i_d = i_{sd} + \hat{I}_{k0} = \hat{I}_{s0} \cos(\pi - \delta) +$$
$$+ \hat{I}_{s2} \cos\delta + \hat{I}_{k0} = \hat{I}_{k0} - \hat{I}_d \cos\delta, \quad (35')$$
$$i_q = i_{sq} = \hat{I}_{s0} \sin(\pi - \delta) + \hat{I}_{s2} \sin\delta = \hat{I}_q \sin\delta. \quad (35'')$$

Se poate ușor observa că la excitație nulă ($I_{k0} = 0$) sinorul $\underline{i}$ coincide cu sinorul $\underline{i}_s$, corespunzător, sinorul $\underline{\psi}_a$ cu sinorul $\underline{\psi}$:

$$\underline{i} = \underline{i}_s; \quad \underline{\psi} = \underline{\psi}_a, \quad (38)$$

adică unghiul λ_0 devine $\lambda_0 = \pi - \delta'$, astfel încît considerînd (16) se poate scrie:

$$\underline{\psi} = \underline{l}(\lambda_0) \underline{i}_s(\delta) e^{j\varepsilon} = \hat{\Psi} e^{j\varepsilon} \quad (39)$$

de unde rezultă că defazajul impus de complexanță (δ') (17) $\underline{l}(\lambda_0) = \underline{l}(\delta) = L + L_2 e^{j\delta''} = l(\delta) e^{j\delta'}$ în fiecare moment este compensat de defazajul sinorului de curent (32) $\underline{i}_s(\delta) = \hat{i}_s(\delta) e^{-j\delta'}$, sau invers. În consecință va avea loc următoarea egalitate:

$$\hat{\Psi} = \underline{l}(\delta) \underline{i}_s(\delta) = l(\delta) \hat{i}_s(\delta). \quad (40)$$

În concluzie la acest paragraf se poate observa că, dacă se consideră (35), (36), (37), expresia sinorului $\underline{i}_F$ poate fi retranscrisă în forma:

$$\underline{i}_F = \hat{I}_{k0} + \hat{I}_{s0} e^{j(\pi - \delta)} - \hat{I}_{s2} e^{j2\delta}, \quad (41)$$

sau

$$\underline{i}_F = \hat{I}_{k0} + \hat{I}_{s0} e^{j(\pi - \delta)} + \hat{I}_{s2} e^{j\delta} \quad (41')$$

care reprezintă în formă complexă o formă particulară a melcului Pascal. De asemenea, se

poate observa că în ipoteza sistemului statoric de putere infinită ($\hat{U}$ = const.; ω = const.) amplitudinile $\hat{I}_{k0}$, $\hat{I}_{s0}$, $\hat{I}_{s2}$ sînt constante; în consecință modulul curentului $\underline{i}$ depinde numai de unghiul intern (de sarcină) al mașinii (δ).

Schimbul de putere

Analiza efectuată oferă posibilitatea studiului puterii schimbate prin bornele comune între mașină și sistem. Astfel, pentru regimul permanent de funcționare în acest scop poate fi utilizată expresia puterii aparente ($\underline{s}$) obținută prin intermediul sinorilor reprezentativi de tensiune și curent

$$\underline{s} = p + \mathrm{j}\, q = 3/2 \cdot \underline{u} \cdot \underline{i}^* = 3/2 \cdot \underline{u}_F \cdot \underline{i}_B, \quad (42)$$

unde puterea instantanee activă (p) și reactivă (q) sînt:

$$p = \mathrm{Re}\,(\underline{s}) = \sum_m u_m\, i_m;$$

$$q = Im(\underline{s}) = 3/2 \cdot \{(u_b - u_c)\, i_a - u_a (i_b - i_c)\}. \quad (42')$$

Dacă se consideră (9), relația (42) poate fi exprimată în funcție de amplitudinile $\hat{U}$, $\hat{I}$:

$$\underline{s} = \underline{S} = 3/2 \cdot \hat{U}\, \hat{I}\, \mathrm{e}^{\mathrm{j}(\alpha - \lambda)} = 3\, UI\, \mathrm{e}^{\mathrm{j}\varphi} = P + \mathrm{j}\, Q, \quad (42'')$$

unde U, I sînt valorile efective ale tensiunii și curentului și P, Q valorile medii ale puterilor instantanee activă și reactivă

$$p = P = 3\, UI \cos\varphi; \quad q = Q = 3\, UI \sin\varphi. \quad (42''')$$

Expresiile puterilor P, Q în funcție de unghiul (δ) cît și de reactanțele sincrone X_d, X_q pot fi obținute considerînd componentele sinorului i (26), (27) (fig. 5). Procedînd astfel, relația (42) devine:

$$\underline{s} = 3/2 \cdot \underline{u}\, (\underline{i}^*_{s0} + \underline{i}^*_{s2} + \underline{i}^*_{k0}),$$

sau

$$\underline{s} = \underline{s}_k + \underline{s}_0 + \underline{s}_2, \quad (43)$$

în care:

$$\underline{s}_k = S_k\, \mathrm{e}^{\mathrm{j}(\pi/2 - \delta)}; \quad (43')$$

$$\underline{s}_0 = S_0\, \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\pi/2}; \quad (43'')$$

$$\underline{s}_2 = S_2\, \mathrm{e}^{\mathrm{j}(\pi/2 - 2\delta)}, \quad (43''')$$

unde modulele S_k, S_0, S_2 au expresiile:

$$S_k = 3/2 \cdot \hat{U}\, \hat{I}_{k0} = 3UE_0/X_d;$$

$$S_0 = 3/2 \cdot \hat{U}\, \hat{I}_{s0} = 3/2 \cdot U^2 (1/X_d + 1/X_q);$$

$$S_2 = 3/2 \cdot U^2 (1/X_q - 1/X_d).$$

Puterile activă și reactivă se obțin ca partea reală respectiv imaginară ale mărimii complexe (43)

$$P = S_k \sin\delta + S_2 \sin 2\delta; \quad (44)$$

$$Q = S_k \cos\delta + S_2 \cos 2\delta - S_0. \quad (45)$$

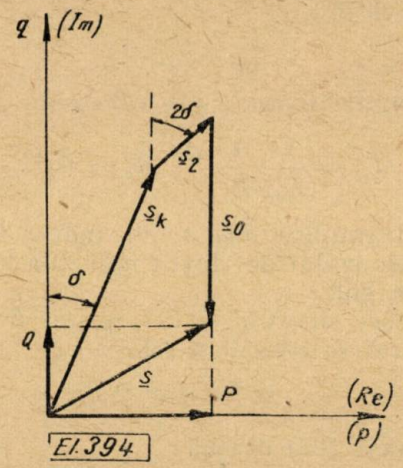


Fig. 6. Reprezentarea geometrică a puterii aparente complexe $\underline{s}$.

În figura 6 este reprezentată geometric puterea aparentă complexă (43). Se observă că această mărime în funcție de unghiul δ reprezintă, de asemenea, o formă particulară a ecuației melcului lui Pascal.

Concluzii

Din cele prezentate rezultă:

— pentru mașina sincronă cu poli aparenți inductanța ciclică complexă care a fost denumită „complexanță" este un parametru caracteristic;

— complexanța mașinii determină defazarea sinorului fluxului magnetic de reacție în raport cu sinorul reprezentativ al sistemului statoric de curenți;

— acest defazaj explică „fenomenul de reluctanță" adică fenomenul transferului de putere activă prin intermediul fluxului propriu;

— introducerea noțiunii de „fluxanță" în teoria mașinilor electrice este foarte indicată;

— folosirea sinorilor reprezentativi în cazul mașinilor trifazate oferă posibilitatea considerării tuturor aspectelor ale proceselor electromagnetice care se desfășoară în aceste mașini.

Bibliografie

[1] *Park, R. H.* Two reactions theory of S. M. În: TAIEE, (Partea I) vol. 48, nr. 3, 1929, p. 716–730; Part. II, vol. **52**, 1933, p. 338–350.

[2] *Adkins, B.* The general theory of electrical machines. New York, John Willey, 1957.

[3] *Kovacs, K. P.* și *Racz. I.* Transiente Vorgange in Wechselstrom Maschinen. Budapest, Verlag der Ung. Akad. der Wiss, 1959.

[4] *Concordia. Ch.* Synchronous machins. New York, John Wiley, 1951.
[5] *Laible, Th.* Die Theorie der Synchronmaschine im nichtstatinaren Betrieb. Berlin, Springer-Verlag, 1952.
[6] *Lyon, W. V.* Transient analysis of alternating current machinery, New York, John Wiley, 1954.
[7] *Hochrainer, A.* Symmetrische Komponenten in Drehstromsystemeb. Berlin, Springer-Verlag, 1957.
[8] *Fitzgerald, A. E.* și *Kingsley Ch.* jr. Electric machinery. New York, Mc Graw-Hill, 1962.
[9] *Kazovskij, E. I.* Perehodnnîe prozessi v elektricheskih masinah peremennogo toka. Moscova, Akad. Sc., 1962.
[10] *White, D. C.* și *Woodson, H. H.* Electromechanical energy conversion. New York, John Wiley, 1961.
[11] *Koenig, H. E.* și *Blackwell. W.* Electromechanical system theory. New York, McGraw-Hill, 1961.
[12] *Seely, S.* Electromechanical energy conversion. New York, McGraw-Hill, 1962.
[13] *Venikov, V. A.* Perehodnnie elektromehaniceskie prozessi v energeticheskih systemah. Moscova, Energhia, 1964.
[14] *Gourishanker, V.* Elektromechanical Energy Conversion. International Textbook Company, Scranton, 1965.
[15] *Thaler, G. J.* și *Wilcox, M. L.* Electric machines. New York, John Wiley, 1966.
[16] *Meisel, J.* Principles of electromechanical energy conversion. New York, McGraw-Hill, 1966.
[17] *Kron, G.* Tensor analysis of networks. New York, John Wiley, 1939.
[18] *Nedelcu, V. N.* Neue Betrachtungen zur Frage der blindleistung. În ETZ 88, H. 10, 1967, p. 249–252.
[19] *Nedelcu, V. N.* Regimuri de funcționare ale mașinilor electrice de curent alternativ. București, Editura tehnică, 1968.

Intrat în redacție la 3.VII.1969

Mașini electrice cu comutație electronică

RĂZVAN MĂGUREANU — BUCUREȘTI

CZ 621. 313. 1. 047: 621. 314. 63

Diversele acționări industriale, tracțiunea electrică etc. cer un reglaj în game largi al vitezei, reglaj ce poate fi obținut pe cale mecanică sau electrică. Sistemele mecanice, datorită dezavantajelor lor cunoscute, au cedat din ce în ce mai mult teren metodelor electrice. Dintre diversele mijloace electrice, experiența a arătat că alimentarea cu frecvență variabilă este cea mai avantajoasă și comodă metodă, oferind o plajă largă de reglare lină a vitezei cu randament bun și instalații relativ simple.

Pînă la apariția semiconductoarelor comandate, alimentarea cu frecvența variabilă a mașinilor de curent alternativ ridica totuși probleme de ordin economic, oferind mașinilor de curent continuu supremația netăgăduită în acest domeniu. Prin însuși principiul lor de funcționare, mașinile de curent continuu sînt alimentate cu frecvență variabilă. Colectorul joacă rolul unui transformator de frecvență, permițînd astfel funcționarea lor pe un întins diapazon de turații.

Comparativ cu mașinile de curent alternativ, mașinile de curent continuu prezintă o serie de dezavantaje. Prezența colectorului care cere o întreținere permanentă reducînd siguranța în funcționare, prețul de cost mai ridicat, greutatea mai mare pe kW, consumurile mari de cupru, limitarea puterilor și turațiilor sînt unele din deficiențele mașinilor de curent continuu, deficiențe care au obligat pe cercetători să încerce crearea unei mașini noi, care să îmbine calitățile constructive ale mașinilor de curent alternativ cu posibilitățile de reglaj de viteză ale mașinilor de curent continuu. Soluția evidentă a fost înlocuirea colectorului cu un sistem static de comutație.

Ideea înlocuirii colectorului mecanic cu un comutator electronic nu este nouă. Ea a apărut o dată cu descoperirea lămpilor cu vid sau gaz, dar rezultatele obținute nu au fost mulțumitoare. O dată cu crearea noilor semiconductoare comandate transistorul și tiristorul, elemente de curenți și tensiuni ridicate, cu randament foarte bun, ideea a fost reluată, iar încercările au fost încununate de succes.

Întreruptoarele cu semiconductoare au față de întreruptoarele mecanice calități superioare, care sînt cu atît mai importante cu cît frecvența este mai ridicată, mașina cu comutație electronică față de mașina clasică prezentînd următoarele avantaje :

— absența uzurii și întreținerii colectorului;
— reducerea dimensiunilor și greutății mașinii prin dispariția colectorului, polilor auxiliari și a înfășurării de compensație. Cresc posibilitățile de încărcare ale mașinii, iar puterile maxime nu mai sînt limitate de existența comutatorului mecanic. Se pot realiza mașini cu greutate scăzută pe kW ($1 \div 2$ kg/kW), mașini cu timpi scurți de accelerare cu, moment de inerție redus;
— se obțin mașini de turații ridicate (peste 30 000 rot/min), viteze care în cazul colectorului clasic sînt limitate de considerente mecanice și electrice (pericolul apariției focului la colector);
— reglajul de viteză se face simplu, fie prin comanda curentului de excitație, a momentelor de comutare, fie prin impulsuri în circuitul de comandă al comutației;

* Ing. *R. Măgureanu* este doctorand la Institutul politehnic-București facultatea de electrotehnică.

— se obţin maşini cu funcţionare silenţioasă;

— la aceleaşi puteri, comparativ cu maşinile de c. c. randamentul este îmbunătăţit şi în diverse aplicaţii, în special de putere medie şi mare maşinile cu comutaţie electronică pot deja concura economic cu maşinile clasice de curent continuu.

1. Principiul de construcţie

Maşinile de curent continuu pot fi de construcţie normală (fig. 1, *a*) cu perii fixe şi

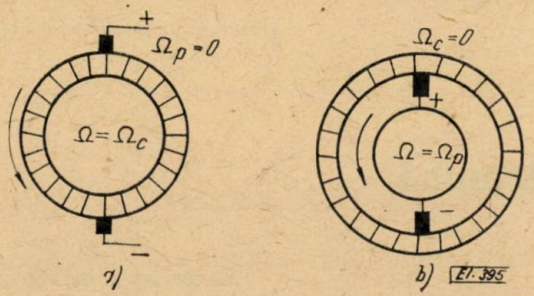


Fig. 1. Maşina de curent continuu clasică:
a — construcţia normală; *b* — construcţia inversă.

colector mobil sau construcţie inversă cu colector fix şi perii mobile (fig. 1, *b*). Principiul lor de funcţionare nu diferă cu nimic şi tocmai asupra acestei a doua variante constructorii au încercat utilizarea comutatorului electronic (fig. 2), elementele semiconductoare fiind comandate funcţie de poziţia rotorului [1], [2], [3], [4], [5]. Sînt prezentate aici două variante constructive — cu secţii în poligon (fig. 2, *a*) şi secţii în

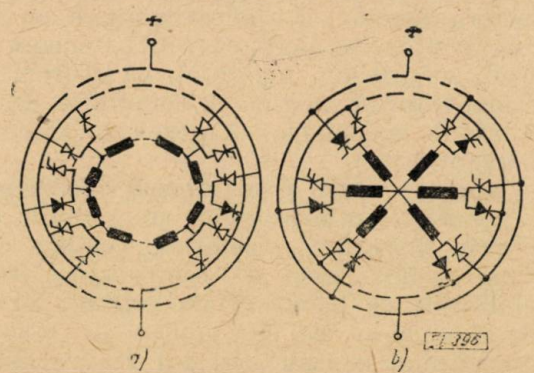


Fig. 2. Maşina electrică cu comutaţie electronică:
a — secţii legate în poligon — alimentare serie; *b* — secţii legate în stea — alimentate în paralel.

stea (fig. 2, *b*). Pentru primul caz, tot curentul ce parcurge cele a_s secţii trece prin două semiconductoare legate în serie, în timp ce restul nu lucrează, conducînd deci la o proastă folosire a semiconductoarelor. În al doilea caz, în permanenţă jumătate din semiconductoare lucrează, utilizarea lor fiind deci mai bună. Datorită acestui fapt, majoritatea maşinilor cu comutaţie electronică vor fi cu bobine alimentate în paralel (stea), în general cu un număr limitat de secţii la 2—3—4, mai rar 6.

Ca elemente semiconductoare pentru maşinile mici se folosesc transistoarele, iar la puteri mai mari tiristoarele. Pentru realizarea unui element care să joace perfect rolul perie-colector rămîne de rezolvat problema simetriei la trecerea curentului. Unul din mijloace este montarea antiparalelă a două elemente unidirecţionale, denumite comercial triac sau symistor [6]. Alte elemente simetrice ca magneto-diodele sau transistoarele cu efect de cîmp au fost realizate de puteri încă mult prea mici şi este de sperat ca în viitor să poată înlocui actualele transistoare sau tiristoare.

2. Maşini de mică putere

2.1. Maşina AEG. Aşa cum s-a arătat, ca elemente de comutaţie electronică la maşinile de mică putere se folosesc transistoarele. Tipică pentru acest gen de maşini este construcţia firmei AEG [7] (fig. 3), maşină cu magneţi permanenţi. Pe axul rotorului este montat un

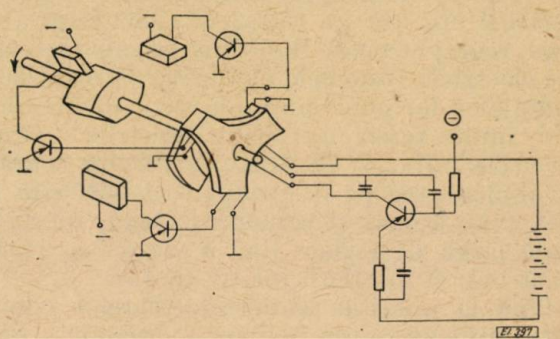


Fig. 3. Micromotorul cu comutaţie electronică A. E. G.

traductor inductiv de poziţie alimentat de la un oscilator transistorizat de 10 kHz. În funcţie de poziţia axei rotorului, pe rînd cîte un transistor este comutat şi alimentează bobina statorică corespunzătoare. După 120° comută transistorul al doilea, iar după alte 120° al treilea şi ciclul se repetă. Întreg sistemul traductor-transistor joacă rolul unui comutator mecanic şi maşina se comportă ca o maşină clasică cu trei secţii rotorice pe rînd alimentate.

2.2. Surse de excitaţie. Pentru asigurarea fluxului de excitaţie se utilizează diverse metode:

— magneţi permanenţi, prezentînd avantajul lipsei oricăror contacte alunecătoare şi recomandaţi fiind pentru maşini de mică putere [7], [8], [9], [10], [11];

— rotor cu poli aparenţi fără înfăşurare de excitaţie, tip motor sincron reactiv. Soluţia devine interesantă pentru noile tipuri de motoare cu reluctanţă variabilă, la puteri de ordi-

nul sutelor de wați pînă la 3—4 kW [12], [13], [14];

— construcții cu punte magnetică, cu poli în formă de gheară, înfășurarea de excitație montată pe stator fiind alimentată în curent continuu. Soluția este recomandată pentru mașini de turație ridicată [15];

— redresor cu semiconductoare montat pe rotor, alimentarea făcîndu-se printr-un sistem de transformator rotativ, metodă folosită la mașini de medie putere [16];

— înfășurare de excitație în curent continuu, alimentată prin inele de contact. Metoda este utilizată la mașini de putere mare, excitația fiind separată sau serie [17].

2.3. Sisteme de comandă ale comutației. Comanda comutației poate fi făcută în două feluri, fie cu traductoare de poziție rotorice montate în exterior, fie direct de t.e.m. a mașinii culeasă de pe o înfășurare montată pe niște poli speciali sau chiar direct de pe o parte a înfășurării de lucru. Comanda directă, utilizînd o înfășurare specială [18], [19], este prezentată în figura 4. La trecerea magnetului permanent

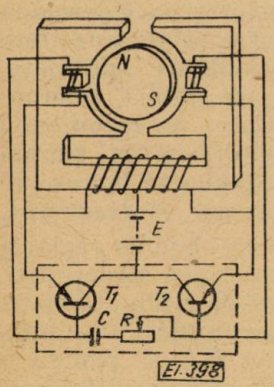


Fig. 4. Micromotorul cu comutație electronică Brailsford.

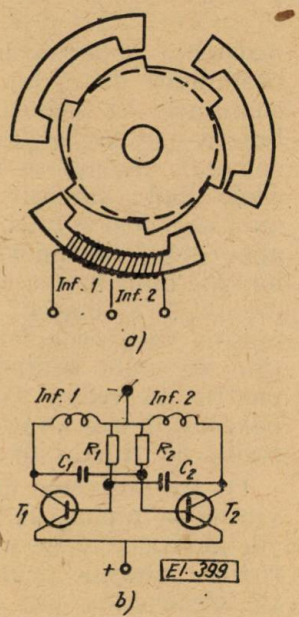


Fig. 5. Micromotorul cu comutație electronică Sirven :

a — schema constructivă de principiu; *b* — schema de alimentare și comandă.

prin dreptul ei apare o t.e.m. ce comandă comutarea transistoarelor T_1 sau T_2. O soluție îmbunătățită este prezentată în figura 5 [20], unde însăși înfășurarea de lucru servește la comanda comutației. Aceste metode sînt folosite pentru puteri foarte mici și utilizate la comutația cu transistoare la care factorul de amplificare în putere redus ar conduce la un randament scăzut al sistemului de comandă. Sistemul are însă dezavantajul că nu funcționează la pornire sau viteze mici, t.e.m. fiind proporțională cu turația. Motorul trebuie pornit printr-un impuls mecanic sau utilizînd un colector clasic ce este decuplat la creșterea vitezei de un automat centrifugal.

Sistemele de mai sus se folosesc astăzi rar, pentru comanda mașinilor utilizîndu-se metode

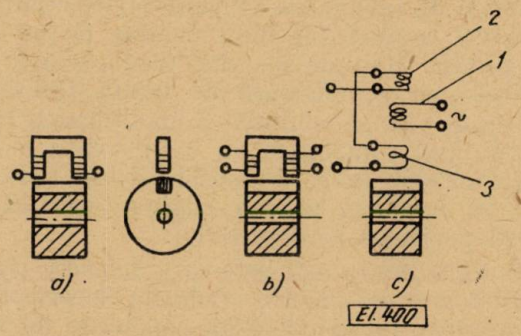


Fig. 6. Traductor de poziție inductivă :

a — tip drossel; *b* — tip transformator; *c* — transformator fără miez de fier, secundar cu două bobine legate în opoziție; *1* — primar; *2, 3* — secundar.

indirecte, traductoare de poziție ce folosesc energia magnetică, electrică, luminoasă sau de radiație a diverse elemente radioactive.

Cele mai utilizate sînt traductoarele inductive (fig. 6) [5], [7], de tip drosel (fig. 6, *a*) sau transformator (fig. 6, *b*). În ambele cazuri, bobinele sînt montate pe un miez de fier, circuitul magnetic putînd fi închis sau deschis de către o piesă feromagnetică mobilă montată pe axul motorului. Aceste sisteme au dezavantajul că la frecvențele ridicate utilizate (zeci de kHz) în circuitul traductorului, fluxul de scăpări are o pondere importantă. Întrefierul traductorului neputînd fi coborît sub 0,5 mm, raportul dintre semnalul util și cel fals este sub 3 : 1. Autorul a utilizat un alt tip de traductor cu bobine fără miez feromagnetic (fig. 6, *c*). Sistemul se compune din trei înfășurări : una centrală (1) alimentată de la un oscilator de 10—20 kHz și două bobine secundare (2 și 3) legate în opoziție. Bobinele sînt perfect acordate astfel ca tensiunea lor de ieșire să fie zero. La apropierea unei piese feromagnetice, echilibrul se strică și semnalul cules este de ordinul sutelor de mV. Eficiența traductorului poate fi mărită prin creșterea frecvenței de alimentare și utilizarea unor bobine cu factor de calitate ridicat.

Efectul Hall este utilizat de asemenea pentru construcția unor traductoare de poziție. Plăcuțele traductoare din Ge, CuAs, HgSe se pot introduce în întrefierul mașinii, permițînd astfel construcția unor motoare compacte. Constanta de timp a acestor traductoare este foarte mică $10^{-10} \ldots 10^{-14}$ s, putînd fi utilizate în sisteme de mare viteză. Din păcate, puterea mică de ieșire care cere un etaj preamplificator,

variațiile mari ale efectului cu temperatura limitează domeniul lor de folosire.

Magneto-diodele au proprietatea variației rezistenței la modificarea cîmpului magnetic. Astfel, între 0 și 1T rezistența lor scade de aproximativ 10 ori. Inconstanța efectului cu temperatura le limitează însă domeniul de utilizare.

Pot fi de asemenea utilizate traductoare capacitive, traductorul fiind montat pe un braț de punte. Mai precise sînt traductoarele alimentate cu generatoare de înaltă frecvență, frecvența care se schimbă la modificarea capacității fiind comparată cu o frecvență etalon. Dezavantajul unui asemenea sistem este că cere un număr mare de oscilatoare egal cu numărul pozițiilor traductorului.

Energia luminoasă este larg folosită pentru traductoare de poziție. Celulele fotoelectrice, fotodiodele, fototriodele au constante de timp scăzute, sînt de preț de cost abordabil și efectul lor este relativ constant în game rezonabile de temperatură. Utilizînd efectul fotovoltaic al păturilor subțiri anizotrope, semiconductoare de telur, s-au realizat traductoare de poziție de constantă de timp foarte mică, tehnologie simplă și preț de cost scăzut [21].

Dezavantajele traductoarelor utilizînd energia luminoasă constau în putere mare cerută de lămpile de iluminare, putere care pentru mașinile mici poate fi comparabilă cu puterea instalației și semnal mic de ieșire care cere un etaj de preamplificare. În ciuda acestor defi-

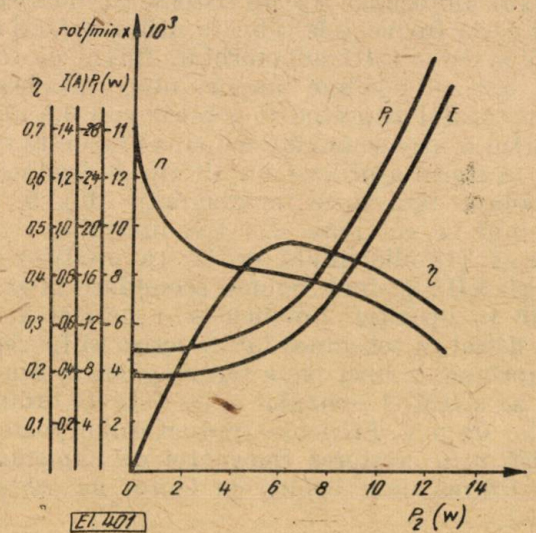


Fig. 7. Caracteristicile micromotorului cu comutație electronică.

ciențe, pentru mașinile medii și mari sînt cele mai recomandate sisteme datorită simplității siguranței și vitezei lor mari de răspuns.

Utilizarea surselor radioactive permite construcția de traductoare simple, izotopul, sursă de radiații, fiind întins ca o pătură foarte subțire chiar pe rotor iar traductoarele — monocristale semiconductoare plasate în întrefier.

2.4. Comanda și stabilizarea vitezei. Mașinile mici cu comutație electronică au caracteristici mecanice moi (fig. 7), viteza depinzînd de tensiunea de alimentare, de fluxul de excitație, de cuplul de frînare, de momentul comutației și

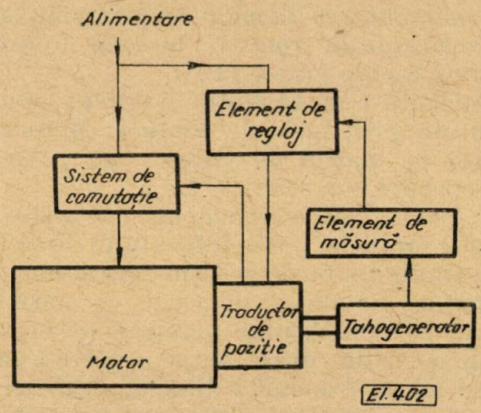


Fig. 8. Schema de principiu a sistemului de stabilizare statică a vitezei.

rezistența înfășurărilor, oferind deci diverse posibilități de reglaj. Existența sistemului de comutație cu semiconductoare sugerează utilizarea metodei reglării vitezei prin impulsuri, comanda făcîndu-se în circuitul traductorului acolo unde curenții și tensiunile comandate au valori foarte mici. Tensiunea de alimentare apare sub forma unor impulsuri și dacă perioada lor este mult mai mică decît constanta de timp mecanică a mașinii și instalației antrenate, mașina va avea o funcționare stabilă, fluctuațiile de cuplu nefiind sesizate. Se recomandă pentru un reglaj satisfăcător, ca în timpul pauzelor dintre impulsuri mașina să lucreze în regim de frînare dinamică sau contracurent.

Pentru obținerea unei largi plaje de reglaj a vitezei se impune ca la viteze mici caracteristicile mecanice să fie suficient de rigide. Caracteristicile naturale ale motoarelor mici cu comutație electronică sînt relativ moi și pentru o funcționare stabilă la toate vitezele se folosesc reacții tahometrice care asigură variația lățimii impulsului funcție de abaterea de viteză de la valoarea dată. Sistemele de comandă sînt statice sau astatice, reglînd fie eroarea instantanee de viteză, fie eroarea integrală.

Schema de principiu a unui sistem de stabilizare static este prezentat în figura 8 [5]. Pe axul motorului este montat un tahometru, a cărui tensiune de ieșire este comparată de un releu cu semiconductoare cu o tensiune proporțională cu viteza comandată. Elementul de comparare comandă circuitul de alimentare al traductorului și astfel menține constantă viteza ($\pm 1\%$). Pentru obținerea unei singure viteze fixe un regulator centrifugal poate fi

montat pe axul mașinii, regulator ale cărui contacte sînt montate în circuitul de alimentare al traductorului [22]. Deși suficient de precis ($\pm 2\%$), aplicarea regulatorului centrifugal este contraindicată pentru regimuri cu vibrații sau cu accelerații bruște.

La sistemele astatice mărimea reglajelor este proporțională cu integrala erorii de viteză: $\varepsilon(t) = \int_0^t [n_0 - n(t)]\,dt$. De obicei, semnalul de comandă se obține utilizînd o sursă de frecvență etalon ce se compară cu frecvența tahometrului, elementul comparativ fiind sensibil la fază. Din păcate, sistemul lucrează numai în domeniul $\pm \frac{\pi}{2}$, cerînd un al doilea stabilizator static, care să facă corectările grosiere. Un exemplu de stabilizator astatic este prezentat în figura 9,

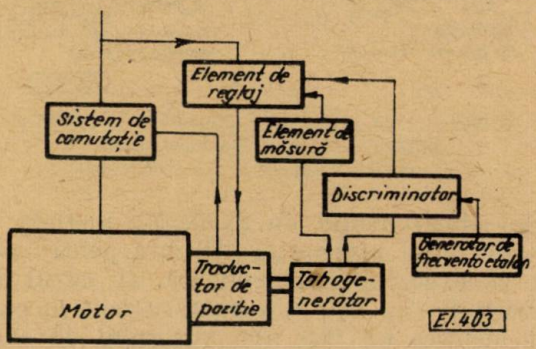


Fig. 9. Schema de principiu a sistemului de stabilizare astatică a vitezei.

comanda făcîndu-se în circuitul traductorului (precizie de $\pm 0{,}05\%$) [5].

3. Mașini de medie și mare putere

Importanța utilizării comutației electronice și în acest domeniu este evidentă. În afara avantajelor caracteristice mașinilor mici, economiile de cupru prin dispariția colectorului, polilor auxiliari și înfășurării de compensație, scăderea greutății generale conduce la o mașină de preț de cost competitiv cu una clasică.

3.1. Sisteme de comutație. Sistemul de comutație nu mai este tot atît de simplu ca la o mașină mică. Tensiunea de alimentare se urmărește să fie cît mai apropiată de sinusoidă pentru micșorarea pierderilor suplimentare și limitarea armonicelor superioare de curent. Pentru comutație se folosesc tiristoare utilizate în montaj de ondulor (invertor). Tensiunile obținute au diverse forme, în funcție de sistemul de comandă și schema de ondulor aleasă. Unele montaje permit simultan un reglaj de frecvență și tensiune, creînd posibilitatea obținerii unor caracteristici mecanice foarte moi. Se disting două tipuri de invertoare, sinusoida putînd fi aproximată fie prin trepte de tensiune (fig. 10, *a*, *b*, *c*, *d*), fie prin pulsuri de frecvență ridicată, a căror subarmonică principală este frecvența dorită (fig. 10, *e*).

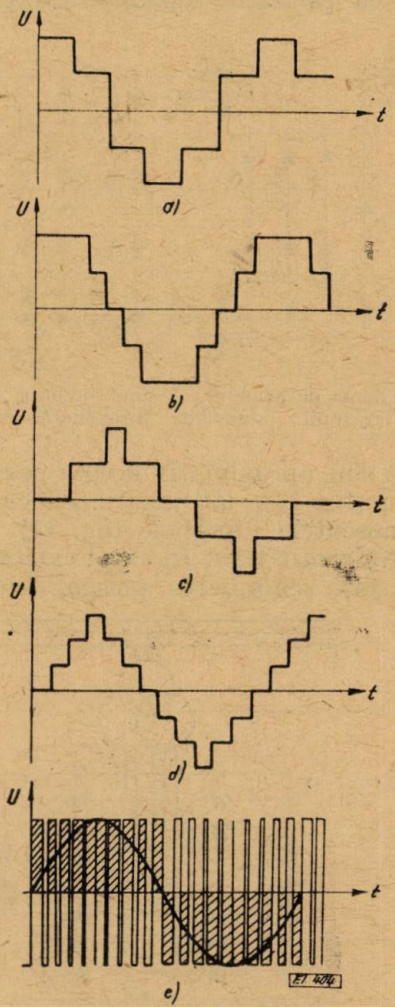


Fig. 10. Diverse forme ale tensiunilor la bornele mașinilor electrice alimentate prin ondulare:
a, *b*, *c*, *d* – aproximarea sinusoidei prin trepte; *e* – aproximarea prin pulsuri de frecvență ridicată a căror subarmonică principală este frecvența dorită.

Pentru obținerea unei tensiuni aproximată prin trepte de tensiune, literatura prezintă o largă gamă de onduloare [23] – [27]. Dintre acestea, caracteristici deosebit de bune are ondulorul din figura 11, tensiunea de ieșire fiind prezentată în figura 10, *a* [43].

Firma BBC [38] recomandă utilizarea ondulorului din figura 12, tensiunea obținută fiind o subarmonică a pulsurilor de înaltă frecvență (fig. 10, *e*).

3.2. Sisteme de excitație. Excitarea mașinilor de putere medie sau mare este aproape în exclusivitate în curent continuu, alimentarea rotorică făcîndu-se prin intermediul unor contacte glisante sau transformator rotitor și redresoare înglobate în rotor. La puteri pînă la 3–4 kW se pot utiliza motoare cu reluctanță variabilă, de tip sincron reactiv, ale căror caracteristici

au fost mult îmbunătățite prin cercetările și patentele din ultimii cinci ani [12], [13], [14].

Excitația în curent continuu poate fi separată (fig. 13, *a*) sau serie (fig. 13, *b*). Pentru mașinile cu excitație separată, caracteristicile

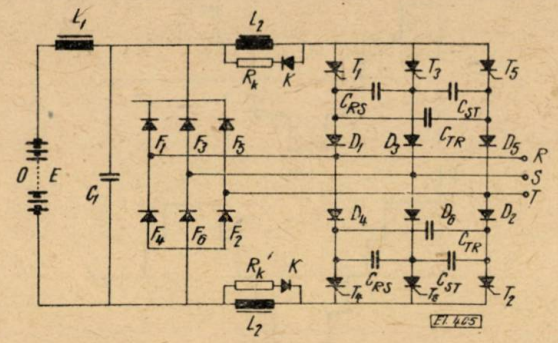


Fig. 11. Schema de principiu a unui ondulor pentru producerea tensiunii — sinusoidă aproximată prin trepte.

mecanice sînt aproximativ drepte paralele ușor căzătoare (fig. 14), iar pentru cele cu excitație serie cunoscutele hiperbole (fig. 15).

3.3. Reglarea vitezei. În cazul excitației separate (fig. 14), schimbarea tensiunii de alimen-

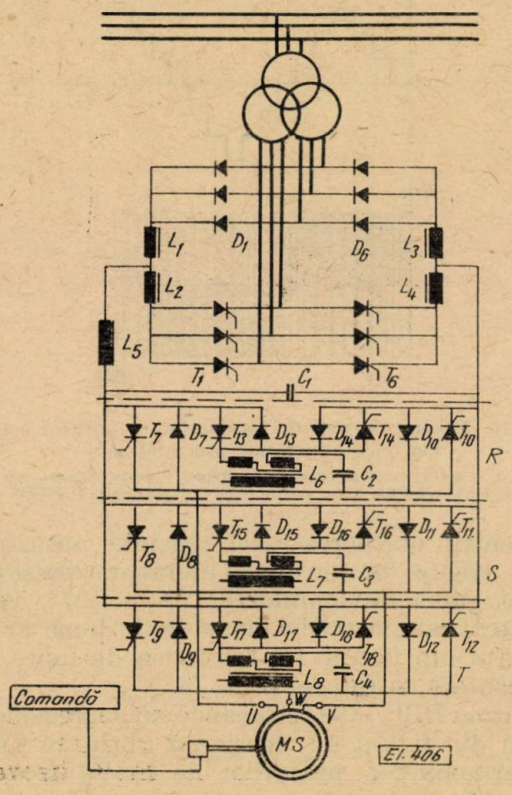


Fig. 12. Schema de principiu a ondulorului BBC pentru obținerea tensiunii de subarmonică.

tare conduce la un reglaj simplu și eficace al vitezei. Ca și la mașinile mici sistemul de comutație permite un reglaj prin impulsuri, metodă larg folosită.

O altă metodă este comanda curentului de excitație, caracteristicile obținute fiind asemănătoare cu cele ale mașinii de curent continuu cu excitație separată. Există o metodă suplimentară de reglare a turației: modificarea poziției traductorului, deci modificarea momentului relativ de comutație, aceasta echivalînd cu decalarea periilor de pe linia neutră la mașina de curent continuu. Pentru mașinile cu reluctanță variabilă, în lipsa posibilității de

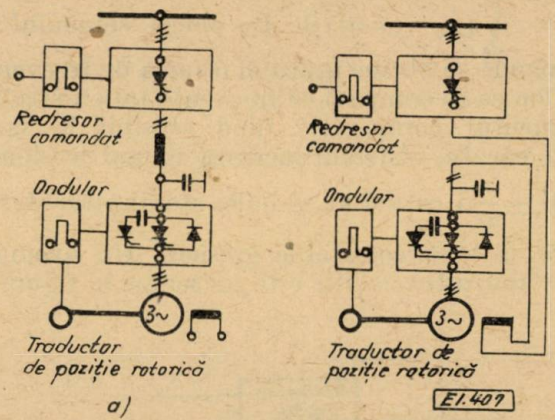


Fig. 13. Schema de principiu a mașinilor de medie și mare putere cu comutație electronică:
a — cu excitație separată; *b* — cu excitație serie.

reglaj al curentului de excitație, metoda este folosită, fiind mai puțin utilizată pentru mașinile cu excitație independentă. În cazul excitației serie (fig. 13, *b*) caracteristicile mecanice sînt identice cu cele ale motorului de curent continuu (fig, 15) și metodele de reglaj ale vitezei sînt aceleași (tensiune, impulsuri, șuntarea excitației). De data aceasta, soluția deca-

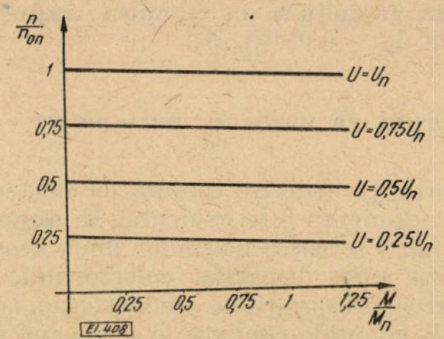


Fig. 14. Caracteristicile mecanice ale mașinii cu excitație separată.

lării traductorului este de luat în considerație, fiind mai simplă decît reglarea excitației.

Mașina serie mai prezintă un avantaj în construcția ondulorului, nemaiapărînd necesar pentru aplatizarea vîrfurilor de curent introducerea unei bobine în serie cu sursa de curent continuu, înfășurarea de excitație preluînd acest rol.

Probleme de stabilitate sau rigidizare a caracteristicilor mecanice nu se pun aici, iar atunci cînd se dorește o viteză constantă se poate folosi una dintre metodele prezentate la mașinile mici.

4. Predeterminarea caracteristicilor mașinilor cu comutație electronică

Prin particularitățile comutației și numărului redus de secții nu este posibilă, la aceste tipuri de mașini, aplicarea teoriei simplificate a mașinilor de curent continuu. Predeterminarea caracteristicilor de funcționare se poate face utilizînd teoria generală a mașinilor electri-

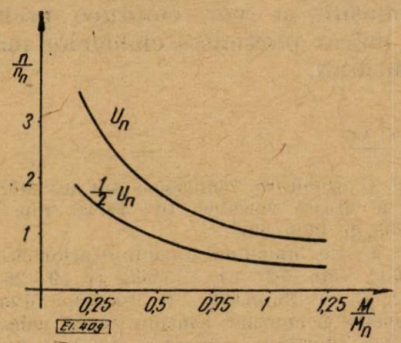


Fig. 15. Caracteristicile mecanice ale mașinii cu excitație serie.

ce și de la caz la caz se pot introduce ipoteze simplificatoare, permițînd astfel o simplificare a studiului. Pînă la 30 000 rot/min fenomenele tranzitorii din tiristoare sau transistoare și din sistemul de comandă nu sînt luate în considerație, iar tensiunea aplicată poate fi aproximată cu o succesiune de trepte.

La mașini mici [5], [9] cu a_s secții în paralel (fig. 2, *b*), excitate cu magneți permanenți de formă cilindrică, neglijînd pierderile în fier, ecuațiile de funcționare sînt de forma:

$$a_q L \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \sum_{k=1}^{a_p} M_k \frac{\mathrm{d}i_k}{\mathrm{d}t} + a_q R \cdot i + a_q \mathrm{e} = U - a_q \Delta U;$$

$$m = c_m \sum_{k=1}^{a_p} \Phi_t i_k \sin(\omega t + \alpha_k);$$

$$m = J \frac{\mathrm{d}\Omega}{\mathrm{d}t} + F\Omega + m_0,$$

unde:

a_q este numărul secției ce comută;
a_p — numărul total de secții parcurse de curent în acel moment;
L — inductanța proprie a secției;
R — rezistența secției;
M_k — inductanța mutuală a două secții;
i — curentul din secție;
e — t.e.m. indusă în secție de sistemul inductor;
U — tensiunea de alimentare;
m — cuplul electromagnetic produs;
c_m — coeficientul de cuplu;
ΔU — căderea de tensiune pe semiconductoare;
Φ_t — fluxul total de excitație;
α_k — unghiul între axa cîmpului de excitație și axa secției respective;
J — momentul de inerție;
F — coeficientul de frecare vîscoasă;
m_0 — cuplul static de frecări.

Sistemul cu a_{p+2} ecuații cu a_{p+2} necunoscute poate fi rezolvat direct pentru diverse viteze de rotații $\left(\text{se consideră regim staționar } \frac{\mathrm{d}\Omega}{\mathrm{d}t} = 0\right)$ permițînd simplu predeterminarea caracteristicilor de funcționare ale mașinii.

La mașinile de putere medie sau mare alimentate de la onduloare cu tiristoare (motoare sincrone cu poli aparenți), există două posibilități de rezolvare a problemei:

— prin descompunerea tensiunii de alimentare în serie Fourier, considerînd o superpoziție ale regimurilor de alimentare [39], [40]. Din păcate, metoda este greoaie iar rezultatele ce se obțin sînt sub forma unor serii;

— prin utilizarea ecuațiilor lui Park în cadrul clasicelor ipoteze simplificatoare. În plus, se consideră că mașina nu are bare amortizoare (existența lor ar conduce la mărirea pierderilor).

În regim staționar (n = const) sînt valabile următoarele ecuații:

$$\begin{bmatrix} r_\alpha + X_d D & -X_q & X_m D \\ X_d & r_\alpha + X_q D & X_m \\ \frac{3}{2} X_m D & 0 & r_\beta + X_\beta D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_\beta \end{bmatrix},$$

$$m = \frac{3}{2}(i_d \psi_q - i_q \psi_d);$$

$$\psi_d = \frac{X_d i_d + X_m i_\beta}{\omega} \qquad \psi_q = \frac{X_q i_q}{\omega};$$

$$M = \frac{1}{T}\int_0^T m \,\mathrm{d}t = F\Omega + m_0,$$

unde:

$D = \dfrac{1}{\alpha(\omega t)}$ este un operator de derivare;
r_α — rezistența unei faze;
X_d, X_q — reactanțele sincrone ale mașinii;
X_m — reactanța de magnetizare;
r_β — rezistența înfășurării de excitație;
v_d, v_q, i_d, i_q — tensiunile și curenții reali statorici raportați la axele d și q ale mașinii;
v_β, i_β — tensiunea și curentul real din circuitul de excitație.

Acest sistem de ecuații se poate rezolva cu ajutorul unui calculator analogic sau cifric predeterminînd simplu caracteristicile mașinii.

Pentru cazul alimentării cu o tensiune în trepte ca în figura 10, a [12], [41], [42], [43], rezolvarea este oarecum simplificată prin utilizarea transformatelor Lyon și Laplace și de existența unor relații de recurență între tensiunile și curenții dintre diverse tacte de comutare ale ondulorului.

În general, o dată determinată forma curentului utilizînd analiza Fourier se pot calcula pierderile suplimentare ale mașinii datorită nesinusoidalității mărimilor electrice.

5. Concluzii

Realizarea de caracteristici tip curent continuu pe mașini de curent alternativ a rezolvat o veche dorință a celor ce se ocupă de domeniul acționărilor electrice. Creșterea randamentului, eliminarea contactelor perie-colector, a colectorului înfășurărilor de compensație și polilor auxiliari, creșterea vitezei, a puterii pe kilogram, reglajul simplu al turației sînt numai unele din avantajele evidente ale acestor noi tipuri de mașini.

Noile surse de energie — pilele de combustie, bateriile solare, multiplele aplicații în spațiul cosmic, la automobilele electrice, justifică pe de altă parte marele interes pe care-l prezintă astăzi mașinile cu comutație electronică.

Din punct de vedere economic este clar că în special mașinile foarte mici nu sînt competitive cu mașinile clasice. Totuși, în diverse aplicații unde randamentul joacă un rol important (spațiul cosmic, alimentări de la baterii uscate a motoarelor de magnetofon portabil, aparate de filmat etc.), aceste soluții devin interesante și au început să fie utilizate, prețul mașinii reprezentînd un procent neînsemnat din prețul întregii instalații.

La puteri medii mașinile cu comutație electronică au început să fie folosite cu succes (automobilele electrice japoneze) devenind competitive și economice cu mașinile clasice.

Pentru puteri mari literatura nu oferă rezultate, dar utilizarea motoarelor asincrone alimentate prin onduloare la acționarea laminoarelor ne indică lipsa oricăror dificultăți la folosirea mașinilor cu comutație electronică.

Importanța acestor noi tipuri de mașini a fost sesizată și în țara noastră. Pe această linie se înscriu cercetările care se fac în cadrul a două colective: colectivul din Institutul de cercetări și proiectări electrotehnice condus de tov. ing. Șlaiher Sigismund, ing. Gheorghiev Valentin și colectivul din Institutul politehnic București, Catedra de mașini electrice I,condus de prof. dr. ing. Al. Fransua.

La Institutul de cercetări și proiectări electrotehnice a fost realizat experimental un micromotor cu magneți permanenți comandat cu transistoare iar la Institutul politehnic București o mașină de medie putere cu excitație independentă și alimentată printr-un ondulor cu tiristoare.

Aceste prime încercări au dus la obținerea unor date prețioase și cercetările ulterioare vor permite industriei noastre să țină pasul în acest domeniu cu ultimele realizări ale tehnicii.

Experiența anilor viitori, noile descoperiri în domeniul semiconductoarelor de putere vor demonstra utilitatea și avantajele acestor noi tipuri de mașini și vor conduce probabil la înlocuirea măcar parțială a clasicelor mașini de curent continuu.

Bibliografie

[1] *Lehman, G.* Quelques remarques sur les moterus électriques à vitesse variable. În : RGE, tom **74** nr. 9, sept 1965, p. 663—668.

[2] *Gudefin, E.* Les machines à commutation électronique. In : RGE, tom **77**, nr. 1, 1968, p. 19—26.

[3] *Quichad, C.* și *Bonnefille, R.* Principe d'un moteur hétéropolaire à courant continu sans collectur. În : Journal de Physique (Physique Appliqueés), tom **26**, ian 1965 p, A—24 A.

[4] *Krug, K.* Der Ersatz des Kommutators der Gleichstrommaschine durch einen Stromrichter. În : Elektrie **22**, nr. 3, 1968, p. 104—107.

[5] *Dubenskii, A. A.* Bezkontactnîe dvigateli postoiannovo toka. Moscova, Editura Energhia, 1967.

[6] *Lecorguillier.* Les vannes électriques. Paris, Dunod, 1866.

[7] *Moczala, H.* Gleischstrom — Kleinsmotoren mit elektronischer Kommutierung. În : AEG-Mitteilungen, nr. 2, 1965, p. 3—6.

[8] *Beier, H. G.* și *Richt, H.* Magnettonlaufwerk mit Kollectorlosen Batteriemotor. În : Funkschau **37**, nr. 17, 1965, p. 472—474.

[9] *Țokanov, V. V.* și *Kossov. O. A.* Bezkolektornîi elektroprivod postoianovo toka. În : Elektricestvo **83**, nr. 1, 1963, p. 22—26.

[10] *Veviurko, I. A., Razumovskii, Iu. V.* și *Selivahin, A. I.* Dvigateli postoianovo toka bez scoliziascih kontactov. În : Vestnik elektropromîșlennosti, nr. 2, 1962.

[11] *Yates, W. W.* Brushless D—C motors : În : Machine Design **38**, nr. 5, 1966, p. 136—142.

[12] *Măgureanu, R.* și *Fransua, Al.* Predeterminarea caracteristicilor unei mașini sincrone reactive alimentată de la un ondulor cu frecvența variabilă. Comunicare — Institutul politehnic Cluj, 12—14 oct 1968.

[13] *Lawrenson, P. J., Gupta, S. K.* și *Murthy-Vamaraju, S. R.* Multispeed performance of segmental-rotor reluctance machines. In : Proc., IEE, vol. **115**, nr. 5, 1968, p. 695—702.

[14] * * *Discussion on Reluctance motors : În : Proc. IEE, vol. **115**, nr. 9. 1968, p. 1 283—1 285.

[15] *Favre, R.* Les moteurs à commutation électronique. În : Schweizerische Technische Zeitschrift. H. 22/23, p. 465—467.

[16] *Lamb, C. St. J.* A new brushless variable-speed drive. În : Control, nr. 3, 1964, p. 114.

[17] *Krug, H.* Der selbstgesteurte Stromrichtersynchronmotor mit Kompensationswicklung bei Fremderregung. În : Elektrie **22**, nr. 4, 1968, p. 156—159.

[18] *Brailsford, S.* Commutatorless direct current motor. Patent U. S. A., nr. 2719944, 1955.

[19] *Brailsford, S..* Transistor commutator less electric motor. Patent U. S. A., nr. 275501, 1956.

[20] *Sirven, P. I.* Nouveau type de moteur électrique. Patent France, nr. 1236687, 1960.

[21] *Cristea, P.* și *Măgureanu, R.* Traductoare fotovoltaice de poziție și viteză utilizînd pături subțiri semiconductoare anizotrope pentru comanda mașinilor și instalațiilor electrice. În : Electrotehnica **17** nr. 5, 1969, p. 190—193

[22] *Streng, K.* Kollektorloser Gleichstrom — Kleinsmotor für Tonbandgeräte. În Radio und Fernsehen H.14, 1963.
[23] *Centri, F. E.* Semiconductor controlled rectifiers 1964 Gutzwiller F. W. Prentice-Hall.
[24] *Mapham, N.* An SCR inverter with good regulation and sinewawe output: În: IEEE Trans. IGA 3, nr. 2, 1967, p. 176—177.
[25] *Bradley, D. A., Clarke, C.D., Davis, R. M.* și *Jones, D. A.* Adjustable-frequency invertors and their application to variabilespeed drivers. În: Proc. IEEE, vol. **111**, nr. 11, 1964, p. 1 833—1 846.
[26] *Li, K. Y. G.* New 3—phase invertor circuit. În: Proc. IEE, vol. **115**, nr. 11, 1968, p. 1 677—1 683.
[27] *Tustin, A.* Electric motors in which commutation is by switching devises such as controlled silicon rectifiers. În: Proc. IEE, vol. **111**, nr. 1, 1964, p. 151—152.
[28] *Skrudelny, H. Chr.* Wechselrichter mit Silizium-Thyratrons für konstante Ausgangsspannung. În: BBC-Nachr. t. **45**, nr. 9, 1963, p. 435—440.
[29] *Gathmann, H.* Les convertisseurs statiques de fréquence autonomes et leur utilisation pour les équipements d'entrainement à moteurs multiples. În: Brown-Bovery Revue, vol. **51**, nr. 8—9, 1964, p. 531—539.
[30] *Bhagwate, P. G.* și *Wolfendale, E.* Silicon controlled rectifiers replace commutator in d. c. motor. În: Control, nr. 1, 1964. p. 24—27.
[31] *Wilson, T. G.* și *Trickey, P. H.* D-C-machine with solid-state commutation. În: Electrical Engineering **81**, nr. 11, 1962, p. 879—884.
[32] *Abraham, L., Förster, J.* și *Schliephake, G.* A-C Motor supply with thyristor converters. În: IEEE Trans. IGA—3, nr. 5, 1966.
[33] *Steimel, K.* și *Heuman, K.* Kommutatorloser Bahnmotor mit Pulswechselrichter für Akkumulatortriebwagen. In: AEG-Mitteilungen **55**, nr. 3, 1965, p. 220—226.
[34] *Steimel, K.* Unkonventionelle Thyristor-Elektronik. În: E. u. M. **83**, H. 10, 1966, p. 552—555.
[35] *Landau, I. D. Gavăt, Ş., Felea, M.* și *Manolescu, R.* Reglarea automată a vitezei motoarelor asincrone prin variația tensiunii și frecvenței cu ajutorul convertizorului static cu tiristoare. În: Electrotehnica, nr. 7, 1966, p. 240—251.
[36] *Konopinski, T.* Polprzewodnikowe elementy mocy. În: Przeglad Electrotechniczny, nr. 8, 1968, p. 242—344,
[37] *Meyer, H. G.* Le convertisseur statique de fréquence autonomes et leur utilisation pour le démarage des machines synchrones. În: Brown-Bovery Revue, vol. **51**, nr. 8—9, 1964, p. 526—530.
[38] *Schönung, A.* și *Stemmler, H.* Reglage d'un moteur triphasé réversible à l'aide d'un covertisseur statique de fréquence comandé suivant le procédé de la sous-oscillation. În: Brown Bovery Revue, vol. **51**, nr. 8—9, 1964, p. 555—576.
[39] *Klingshirn, E. A.* și *Jordan, H. E.* Polyphase induction motor performance and losses on nonsinusoidal voltage sources. În: IEE Trans, vol. **PAS 87** nr. 3, mar 1968, p. 624—631.
[40] *Bendyk, Z.* și *Opolski, A.* Tyrystorowa przetwornica czestotliwosci do regulacji predkosci obrotowek silnikow asynchronicznych klatkowych. În: Przeglad Elektrotechniczny, nr. 5, 1968, p. 212—214.
[41] *Hanrahan, D. J.* Steady-state analysis of periodically interupted circuits by means of symmetrical components. In: AIEE-Trans., vol. **82**, nov 1963, p. 589—593.
[42] *Lyon, W. V.* Transient analysis of alternating-current machinery, New York, Wiley, 1954.
[43] *Sabbagh, E. M.* Characteristics of an adjustable polyphase induction machine. În: IEE.Trans., vol **PAS-87**, nr. 3, mar 1968, p. 613—624.

Intrat în redacție la 17.I.1969

Reglarea vitezei motoarelor asincrone prin recuperarea energiei de alunecare pe cale mecanică

IULIAN ȚOPA* — BRAȘOV

CZ 621. 313. 333—531. 6: 621. 337. 522

Recenta dezvoltare a elementelor semiconductoare de putere a permis îmbunătățirea performanțelor unor metode de reglare a vitezei, motoarelor electrice. Atenția s-a îndreptat atît asupra motoarelor de curent continuu cît și asincrone. În cele ce urmează ne vom referi la reglarea vitezei motoarelor asincrone prin recuperarea energiei de alunecare pe cale mecanică utilizînd elemente semiconductoare de putere (diode cu siliciu).

Modificarea vitezei prin recuperarea energiei de alunecare reprezintă ansamblul procedeelor care derivă direct din modificarea impedanței secundare a motorului asincron, aceasta nefiind constituită din elemente pasive. Energia de alunecare poate fi recuperată fie prin transformarea acesteia în energie mecanică, energie care se transmite pe arborele motorului asincron (recuperare pe cale mecanică), fie prin restituirea acestei energii în rețeaua de alimentare a motorului asincron (recuperare pe cale electromagnetică).

În acționarea mașinilor de lucru care necesită o gamă de reglare a vitezei de (30—40)% sistemul generator-motor este relativ scump. Cascada Krämer, clasică, are o serie de inconveniente ca: utilizarea a două mașini cu colector (comutatricea și motorul de recuperare), putere instalată mare, greutate și gabarit ridicat, manevrare oarecum dificilă etc. Înlocuirea comutatricei cu un redresor static cu elemente semiconductoare elimină aceste neajunsuri. Schema de principiu a unei asemenea acționări denumită și cascadă cu recuperare mecanică sau „Métacin" cu recuperare mecanică [1] este reprezentată în figura 1.

* Ing. *I. Țopa*, este șef de lucrări la Institutul politehnic Brașov.

Reglarea vitezei acționării se realizează prin schimbarea mărimii curentului de excitație i_e al motorului de recuperare MR. Dacă la viteza staționară se mărește curentul de excitație i_e al mașinii de c. c. MR, t. e. m. a acestei mașini va crește ceea ce conduce la

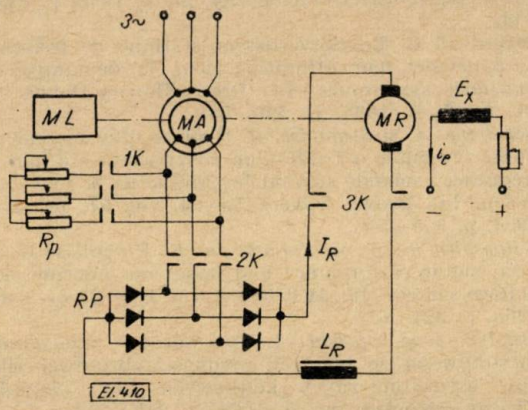


Fig. 1. Schema de principiu a sistemului de acționare cu recuperarea energiei de alunecare pe cale mecanică:
ML – mașină de lucru; 1 K, 2K, 3K – contactoare; R_p – reostat de pornire; MA – motor asincron principal; MR – motor de recuperare; RP – redresor trifazat în punte; L_R – inductanță.

micșorarea curentului I_R din circuitul redresat și deci la micșorarea curentului din circuitul rotoric al motorului asincron principal MA și prin urmare a cuplului dezvoltat de acesta. Aceasta va avea drept rezultat micșorarea vitezei, micșorare care continuă pînă la stabilirea egalității dintre cuplul dezvoltat de cascadă și cuplul rezistent la arbore. După cum rezultă din figura 1 prin forțarea curentului de excitație al MR nu se poate obține frînarea electrică deoarece energia din circuitul curentului redresat nu-și poate schimba sensul. Sistemul descris funcționează la putere constantă [1]. Se utilizează acolo unde la turații mici sînt necesare cupluri mari (laminoare nereversibile, mașini-unelte mari etc.).

1. Schema echivalentă și expresiile curenților

Pentru cele ce urmează se fac următoarele ipoteze simplificatoare:

— redresorul este constituit din diode ideale;

— se neglijează comutația redresorului;

— t. e. m. a motorului de recuperare echivalentă (pe partea de c. a. a redresorului) este în fază cu tensiunea de alimentare a statorului motorului asincron MA;

— rezistența suplimentară din circuitul rotorului motorului asincron este rezistența echivalentă, raportată la stator, cu care se exprimă rezistența indusului motorului de recuperare;

— se neglijează saturația mașinii MR.

Ecuațiile de funcționare ale motorului asincron în cazul recuperării energiei de alunecare pe cale mecanică sînt acelea ale unei mașini asincrone generale, adică:

$$\underline{U}_1 = \underline{Z}_1 \underline{I}_1 - \underline{U}_{e1} \tag{1}$$

$$\underline{I}_1 + \underline{I}'_2 = \underline{I}_0 \tag{2}$$

$$-\frac{\underline{U}'_2}{s} = C_s \underline{U}_1 = -\underline{U}_{e1} + \underline{Z}'_{2s} \underline{I}'_2 \tag{3}$$

$$\underline{U}_{e1} = -\underline{Z}_m \underline{I}_0 \tag{4}$$

$$\underline{Z}'_{2s} = \frac{r'_2 + R'_{ea}}{s} + \mathrm{j} X'_2, \tag{5}$$

unde, pe lîngă notațiile cunoscute din teoria mașinii asincrone, s-au mai notat cu:

$\underline{U}'_2$ — tensiunea introdusă în circuitul rotorului motorului asincron, raportată la stator;

R'_{ea} — rezistența echivalentă pe fază, raportată la stator, pe partea de c. a. cu care se exprimă rezistența indusului motorului de recuperare;

C_s — coeficient depinzînd de alunecare (valoarea sa se va determina în continuare).

Ecuațiilor de mai sus le corespunde schema echivalentă reprezentată în figura 2.

Pentru a determina pe $\underline{U}'_2$ exprimăm t. e. m. indusă în rotorul motorului de recuperare MR în funcție de alunecare. În ipoteza nesaturației mașinii MR, t. e. m. U_{ea} va fi:

$$U_{ea} = C_e n \Phi = C_e n_0 (1 - s) K_1 i_e = U_{ea0}(1 - s), \tag{6}$$

unde $U_{ea0} = C_e K_1 n_0 i_e$ este t. e. m. indusă în rotorul motorului de c. c. MR la viteza de sincronism a motorului asincron și corespunzătoare curentului de excitație i_e. Notînd cu K_u raportul dintre tensiunea de fază pe partea de c. a. și tensiunea pe partea de c. c. a redresorului [2], după raportare la stator, se obține:

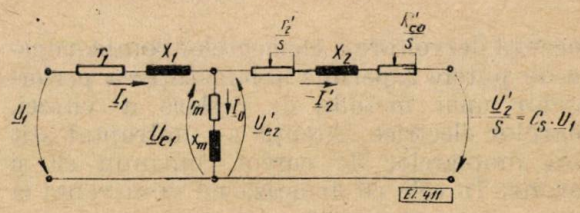


Fig. 2. Schema echivalentă.

$$U'_2 = U_{ea0}(1 - s) K_u \cdot K, \tag{7}$$

unde K = raportul de transformare al motorului asincron.

Raportînd U_{ea0} la tensiunea aplicată pe faza statorului [3]:

$$U_{ea0} = K_2 U_1 \tag{8}$$

şi ţinînd seama de regula de asociere a sensurilor de referinţă, ecuaţia (7) devine :

$$-\underline{U}'_2 = K_2\,\underline{U}_1(1-s)\,K_u\cdot K. \qquad (9)$$

Ţinînd seama de (9), din (3) rezultă valoarea coeficientul C_s:

$$C_s = \frac{K_2(1-s)\,K_u\cdot K}{s}. \qquad (10)$$

Determinarea lui R'_{ea} se face pe baza egalităţii dintre căderea de tensiune pe rezistenţa indusului motorului de recuperare MR şi căderea de tensiune produsă de curentul de fază rotoric pe rezistenţa echivalentă pe fază R'_{ea}. Fie [2]:

$$K_i = \frac{I_R}{I_2}, \qquad (10a)$$

unde :

I_R este valoarea medie a curentului redresat ;

I_2 — valoarea efectivă a curentului rotorului.

În aceste condiţii :

$$R'_{ea} = K_i\cdot K_u\cdot K^2\cdot R_a, \qquad (11)$$

unde :

R_a = rezistenţa indusului motorului de recuperare MR.

Din ecuaţiile (1), (2), (3), (4), şi (5) rezultă valorile curentului statoric şi rotoric al motorului asincron în cazul recuperării energiei de alunecare pe cale mecanică :

$$\underline{I}_1 = \underline{U}_1\,\frac{1+\dfrac{\underline{Z}'_{2s}}{\underline{Z}_m}-C_s}{\underline{Z}_1+C_1\underline{Z}'_{2s}} \qquad (12)$$

$$\underline{I}'_2 = -\,\underline{U}_1\,\frac{1-C_1\cdot C_s}{\underline{Z}_1+C_1\underline{Z}'_{2s}}, \qquad (13)$$

unde $\underline{C}_1 \cong C_1 = 1+\dfrac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_m}$.

Înlocuind în (12) şi (13) pe $\underline{Z}'_{2s}$ din (5) şi C_s din (10) şi notînd :

$$K_2 K_u K = K_3$$

rezultă :

$$\underline{I}_1 = \underline{U}_1\,\frac{\underline{A}_1+\underline{B}_1 s}{\underline{D}_1+\underline{E}_1 s} \qquad (14)$$

$$\underline{I}_2 = -\,\underline{U}_1\,\frac{\underline{F}_1 s}{\underline{D}_1+\underline{E}_1 s} \qquad (15)$$

unde :

$$\underline{A}_1 = \frac{r'_2+R'_{ea}}{\underline{Z}_m}-K_3; \qquad \underline{D}_1 = C_1(r'_2+R'_{ea});$$

$$\underline{B}_1 = 1+\mathrm{j}\frac{X'_2}{\underline{Z}_m}+K_3; \qquad \underline{E}_1 = \underline{Z}_1+\mathrm{j}\,C_1 X'_2.$$

$$\underline{F}_1 = 1+C_1K_3-C_1\frac{K_3}{s};$$

Relaţiile (14) şi (15) particularizate pentru $R_a = 0$ şi $K_2 = 0$ conduc la expresiile cunoscute pentru un motor asincron conectat într-o schemă obişnuită.

2. Caracteristicile mecanice

Cuplul cascadei este compus din cuplul motorului asincron M_A şi cuplul motorului de recuperare M_R [3], [4] :

$$M_C = M_A + M_R. \qquad (16)$$

a) Cuplul motorului asincron.

Puterea electromagnetică a motorului asincron este :

$$P_e = m_1\,U'_{e2}\,I'_2\cos(\underline{U}'_{e2},\ \underline{I}'_2),$$

iar

$$\underline{U}'_{e2} = \underline{U}_{e1} = \underline{Z}\,\underline{I}'_2 = \underline{I}'_2(R+jX), \qquad (17)$$

unde $\underline{Z} = R+\mathrm{j}X$ = impedanţă a cărei valoare este deocamdată necunsocută

sau

$$P_e = m_1 I'^2_2 R.$$

Cuplul electromagnetic al motorului asincron va fi :

$$M_A = \frac{P_e}{9{,}81\cdot\Omega_0} = \frac{m_1 p\cdot I'^2_2 R}{9{,}81\cdot 2\pi f_1},\ \text{kgfm}. \qquad (18)$$

Ţinînd sema de (17) ecuaţia (3) devine :

$$\underline{U}_{e1} = -\,C_s\underline{U}_1 + \underline{Z}'_{2s}\underline{I}'_2 = \underline{Z}\,\underline{I}'_2 = (R+\mathrm{j}\,X)\,\underline{I}'_2. \qquad (19)$$

Înlocuind pe $-\underline{U}_1$ din (13) în (19) se obţine :

$$\frac{\underline{Z}'_{2s}+C_s\underline{Z}_1}{1-C_1C_s}\,\underline{I}'_2 = (R+\mathrm{j}\,X)\,\underline{I}'_2,$$

de unde rezultă:

$$R = \frac{C_s r_1+\dfrac{r'_2+R'_{ea}}{s}}{1-C_1C_s}. \qquad (20)$$

Substituind valoarea lui $\underline{I}'_2$ din (13) şi a rezistenţei R din (20) în ecuaţia cuplului se obţine :

$$M_A = \frac{m_1 p}{9{,}81\cdot 2\pi f}\cdot \frac{U_1^2(1-C_1C_s)\left(C_s r_1+\dfrac{r'_2+R'_{ea}}{s}\right)}{\left(r_1+C_1\dfrac{r'_2+R_{ea}}{s}\right)^2+(X_1+C_1X'_2)^2},\ \text{kgfm}. \qquad (21)$$

b) Cuplul motorului de recuperare.

Cuplul electromagnetic al motorului de recuperare se determină din formula :

$$M_R = \frac{U_{ea}\cdot I_R}{\Omega}. \qquad (22)$$

T. e. m. U_{ea} indusă în rotorul motorului de recuperare MR este dată de relaţia (6).

Ţinînd seama de (10*a*) rezultă legătura dintre I_R şi I'_2:

$$I_R = K_i \cdot K \cdot I'_2. \qquad (22a)$$

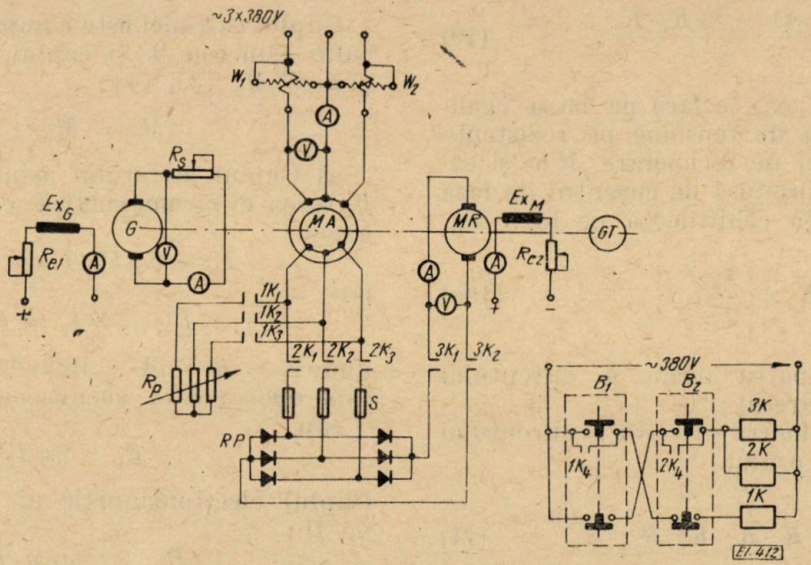


Fig. 3. Schema instalaţiei experimentale:
G – generator de c. c.; *GT* – tahogenerator; *S* – siguranţe ultrarapide; B_1, B_2 – butoane de comandă; R_s – reostat de sarcină; R_{e_1}, R_{e_2} – reostate de excitaţie; 1*K*, 2 *K*, 3*K* – bobinele contactoarelor.

Înlocuind în (22) pe

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi n_0(1-s)}{60} = \frac{2\pi f}{p}(1-s),$$

U_{ea} din (16) şi I'_2 din (13) rezultă cuplul motorului de recuperare:

$$M_R = \frac{p U_1 U_{ea0} \sqrt{(1 - C_1 C_s) K_i \cdot K}}{9{,}81 \cdot 2\pi f \sqrt{\left(r_1 + C_1 \frac{r'_2 + R'_{ea}}{s}\right)^2 + \left(X_1 + C_1 X'_2\right)^2}}, \text{ kgfm.} \qquad (23)$$

3. Rezultate experimentale

Schema instalaţiei experimentale realizate este reprezentată în figura 3. Pentru pornirea instalaţiei, cu reostatul R_p pe poziţia de rezistenţă maximă, se apasă pe butonul B_1. Contactorul 1*K* anclanşează închizînd contactele de linie $1K_1$; $1K_2$ şi $1K_3$ şi de automenţinere $1K_4$. În continuare pornirea decurge ca la un motor asincron obişnuit cu rezistenţe în circuitul rotoric. Motorul asincron va dezvolta cuplu la arbore numai atunci cînd înfăşurarea sa rotorică este parcursă de curent. Această condiţie este îndeplinită cînd tensiunea redresorului este mai mare decît tensiunea la bornele motorului de recuperare. Cu motorul de recuperare MR neexcitat se acţionează apoi asupra butonului B_2. Declanşează contactorul 1*K* şi anclanşează simultan contactoarele 2*K* şi 3*K*. În acest fel se închid contactele de linie $2K_1$, $2K_2$, $2K_3$, $3K_1$, $3K_2$ şi contactul de automenţinere $2K_4$, iar instalaţia funcţionează în cascadă cu recuperarea mecanică a energiei de alunecare. Reglarea vitezei de rotaţie a acţionării se realizează prin mărirea curentului de excitaţie al maşinii MR, cu ajutorul reostatului de excitaţie R_{e_2}, iar încărcarea instalaţiei se execută cu generatorul de c. c. G. Turaţia se măsoară la generatorul tahometric GT.

Maşinile instalaţiei experimentale au fost:
– motorul asincron *MA*: 4,5 kW; 380/220 V; 11,5/19,9 A; 940 rot/min; cos $\varphi = 0{,}78$; $U_2 = 135$ *V*; $I_2 = 24{,}4$ A,
– motorul de recuperare *MR* de tip GC_2Pa 44a: 2,5 kW; 170 V; 20 A; 1 500 rot/min; $i_{en} = 0{,}7$ A,
– generatorul de c. c. G: 3,5 kW; 220 V; 20 A; 1 000 rot/min.

Pentru redresorul în punte s-au folosit diode cu siliciu tip Si 250.

Relaţiile (16), (21), şi (23) permit calcularea caracteristicii mecanice în cazul reglării vitezei prin recuperarea energiei de alunecare. Din încercările de gol şi scurtcircuit ale motorului asincron au rezultat: $K = 2{,}85$; $r_1 = 1{,}525\ \Omega$; $r_{sc} = 2{,}9\ \Omega$; $r'_2 = 1{,}375\ \Omega$; $X_{sc} = X_1 + X'_2 = 5{,}6\ \Omega$. Rezistenţele diverselor înfăşurări ale maşinilor de c. c. la 75 °C au fost:
– pentru indusul motorului de recuperare *MR*, 0,7 Ω;

— pentru indusul generatorului G, 0,8 Ω. Pentru trasarea caracteristicilor mecanice s-a determinat experimental, pentru motorul MR, caracteristica $U_{ea0}=f(i_e)$ pentru $n=1000$ rot/min (fig. 4).

Din teoria redresării, pentru un redresor trifazat în punte, se determină [2]: $K_u = 0{,}428$

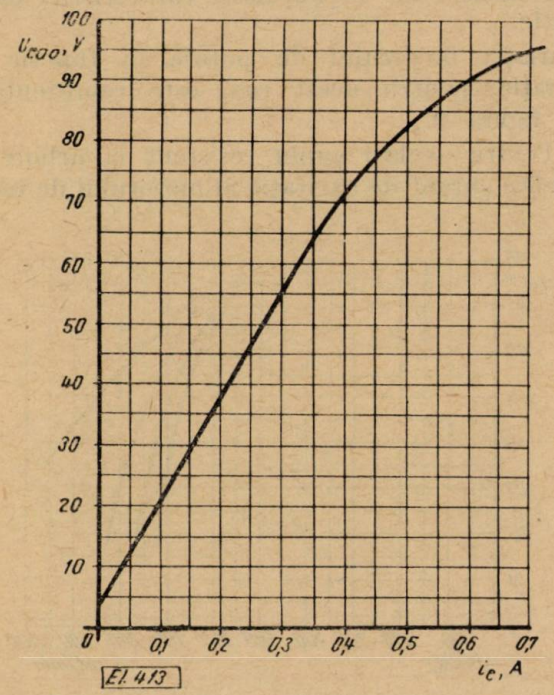


Fig. 4. Caracteristica $U_{ea0} = f(i_e)$ pentru $n = n_0 = 1000$ rot/min.

şi $K_i = 1{,}22$. În aceste condiţii rezultă, conform relaţiei (11), $R'_{ea} = 2{,}96\ \Omega$.

Pentru $i_e = 0{,}4$ A se determină $U_{ea0} = 72$V (fig. 4) şi deci conform relaţiei (8) $K_2 = 0{,}327$. Din relaţia (10) rezultă valoarea coeficientului C_s:

$$C_s = \frac{0{,}4\,(1 - s)}{s},$$

Calculele conform relaţiilor (16), (21) şi (23), considerînd $C_1 \cong 1{,}0$, sînt sintetizate în tabela 1.

În figura 5 sînt trasate variaţiile cuplurilor M_A, M_R şi M_C în funcţie de alunecare pentru $i_e = 0{,}4$ A, obţinute prin calcul.

Caracteristicile mecanice ale cascadei, obţinute prin calcul şi experimental, pentru diverse valori ale curentului de excitaţie al motorului de recuperare şi $C_1 \cong 1{,}0$, sînt reprezentate în figura 6. Se observă proprietatea sistemului

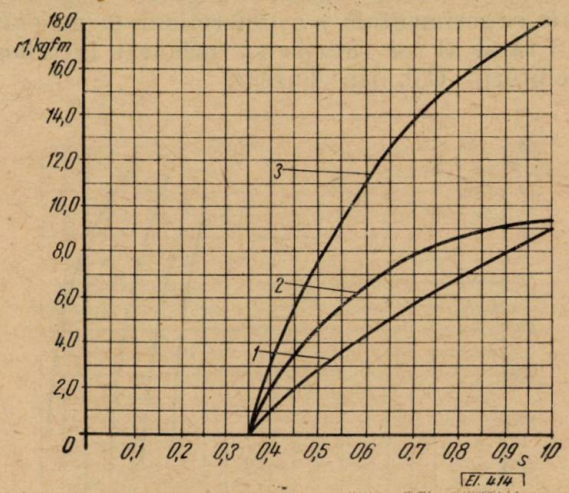


Fig. 5. Dependenţa cuplurilor M_A, M_R şi M_C de alunecare pentru $i_e = 0{,}4A$:
1 – $M_A = f_1(s)$; 2 – $M_R = f_2(s)$; 3 – $M_C = f_3(s)$.

de a funcţiona la putere constantă. Pentru instalaţia experimentală, la cuplu nominal,

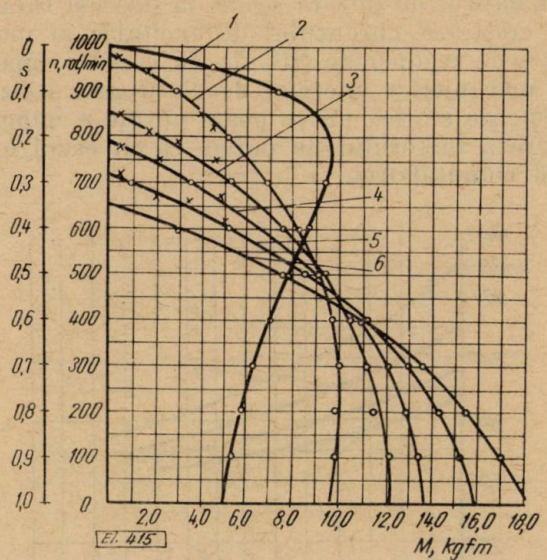


Fig. 6. Caracteristicile mecanice ale cascadei pentru diverşi curenţi de excitaţie:
1 – caracteristica mecanică naturală a motorului asincron; 2 – $i_e = 0$; 3 – $i_e = 0{,}150$ A; 4 – $i_e = 0{,}250$ A; 5 – $i_e = 0{,}4$ A; 6 – $i_e = 0{,}7$ A; ∘ ∘ – prin calcul; × × – experimental.

Tabela 1

s	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0.268
C_s	0	0,0444	0,10	0,1714	0,2666	0,40	0,6	0,9986
M_A	9,3191	9,191	8,909	8,315	7,3251	5,812	3,606	0
M_R	6,6096	6,0048	5,364	4,6512	3,78	2,7576	1,5768	0
M_C	15,9287	15,1958	14,273	12,9662	11,1051	8,5696	5,1828	0

se obţine o gamă de reglaj de 1 :1,7 la o variaţie a curentului de excitaţie de la 0 la 0,7 A. Rezultatele experimentale verifică pe cele obţinute prin calcul. Valoarea cuplului cascadei pe cale experimentală s-a determinat la generatorul tarat G iar turaţia s-a măsurat la tahogeneratorul GT, tip Turo-2.

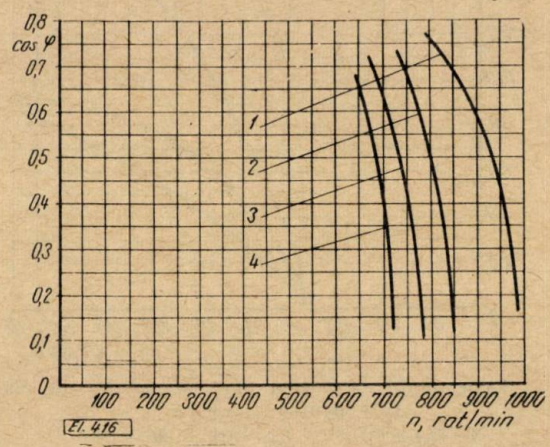


Fig. 7. Caracteristica cos φ = f(n):
1 – i_e = 0; 2 – i_e = 0,150 A; 3 – i_e = 0,250 A; 4 – i_e = 0,4 A.

Factorul de putere scade, la aceeaşi turaţie, cu creşterea curentului de excitaţie al motorului de recuperare (fig. 7). În cazul recuperării mecanice a energiei de alunecare utilizînd elemente statice nu se poate obţine o îmbunătăţire a factorului de putere ca în cazul folosirii comutatricei.

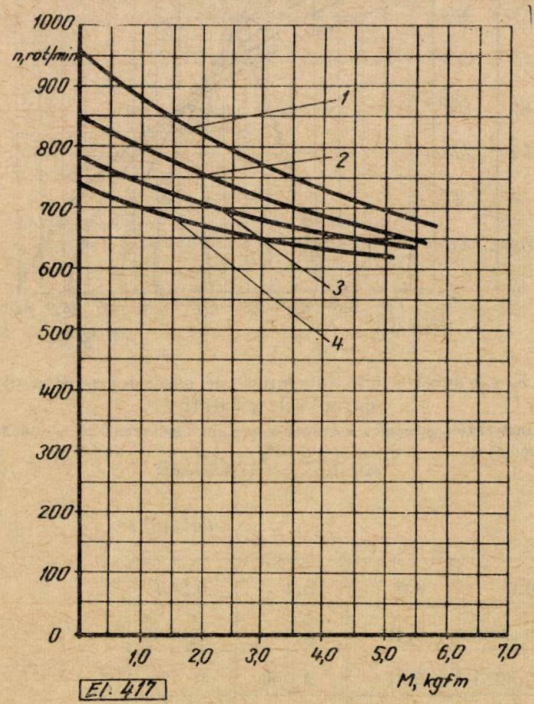


Fig. 8. Caracteristicile mecanice ale cascadei cînd motorul de recuperare are şi o înfăşurare serie:
1 – i_e = 0; 2 – i_e = 0,150 A; 3 – i_e = 0,250 A; 4 – i_e = 0,4 A.

Deoarece motorul de recuperare *MR* avea şi o înfăşurare serie, în figura 8 sînt reprezentate caracteristicile mecanice, obţinute experimental, pentru cazul cînd este conectată şi această înfăşurare. Rezistenţa înfăşurării serie la 75 °C a fost 0,062 Ω. Se obţin în acest caz caracteristici compound spre deosebire de cazul precedent cînd se obţineau carateristici derivaţie.

Variaţia factorului de putere în funcţie de turaţie, pentru acest caz, este reprezentată în figura 9.

Pentru acelaşi cuplu rezistent la arbore şi acelaşi curent de excitaţie al motorului de recu-

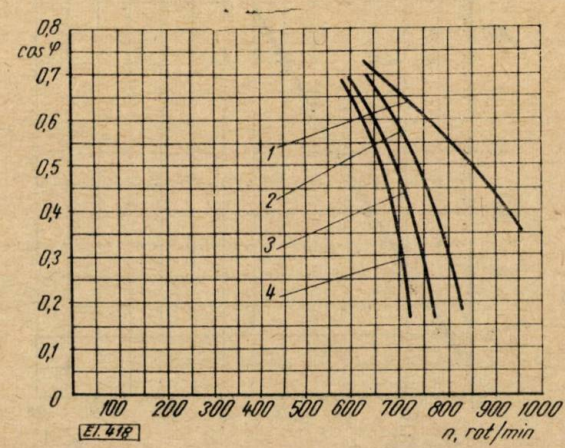


Fig. 9. Caracteristicile cos φ = f(n). MR are şi o înfăşurare serie:
1 – i_e = 0; 2 – i_e = 0,150A; 3 – i_e = 0,250 A; 4 – i_e = 0,4 A.

perare factorul de putere, în cazul cînd *MR* are şi o înfăşurare de excitaţie serie, este mai mic decît în absenţa acesteia.

4. Concluzii

Cunoscîndu-se parametrii motorului asincron şi ai maşinii de c. c. se pot determina caracteristicile mecanice ale cascadei cu elemente statice, care funcţionează la putere constantă. Dacă motorul de recuperare posedă şi o înfăşurare de excitaţie serie se pot obţine caracteristici mecanice de tip compound.

Se obţin, pentru curenţii $\underline{I}_1$ şi $\underline{I}_2$, relaţiile (14) şi (15), expresii mult mai simple decît cele obţinute pentru cascadele cu comutatrice şi cunoscute în literatura tehnică de specialitate [4]. Deşi la acelaşi cuplu rezistent la arbore factorul de putere al cascadei scade, faţă de cel al motorului asincron, rămîne totuşi în limite acceptabile. Manevrarea instalaţiei este mai simplă şi mai uşoară decît în cazul sistemelor cu comutatrice.

Bibliografie

[1] *Surchamp, Y.* Quelques applications des semiconducteurs au réglage de la vitesse des moteurs asynchrones. În : R. G. E., t. **74**, anul 49, nr. 7—8,1965, p. 573—588.
[2] *Kaganov, I. L.* Elektronnîe i ionnîe preobrazovateli, Moscova, Leningrad, Gosenergoizdat, 1956.
[3] *Birulia, I. N.* şi *Moniuşco, I. D.* Rasciot mehaniceschih haracteristic kaskada Kremera s odnoiakornîm preobrazovatelem. În : Elektromehanica, nr. 4, 1959, p. 54—62.
[4] *Bejan, I. Sebastian, L.* şi *Boţan, N. V.* Teoreticeschie soobrajenia v sviazi s rabotoi kaskadnogo soedinenia asinhronogo dvigatelia s odnoiakornîm preobrazovatelem pri postoiannoi moşcinosti. În : Buletinul Institutului politehnic din Iaşi, seria nouă, t. **IV. (VIII)** nr. 1—2, 1958, p. 261—270.

Intrat în redacţie la 10.V.1969

Folosirea metodelor de transfigurare la calculul circuitelor de ventilaţie ale maşinilor electrice

AURELIAN AL. CRĂCIUNESCU ŞI SORIN AL. BUCURENCIU* — BUCUREŞTI

CZ 621. 313. 32.-712. 2: 621. 312. 1

Se ştie că metodele de calcul elaborate în cadrul teoriei circuitelor electrice pot fi aplicate şi la calculul unor circuite de altă natură fizică, dacă acestea sînt caracterizate prin ecuaţii izomorfe cu ecuaţiile lui Kirchhoff. De aceea, pentru generalitate, se vor nota cu „x" variabilele care satisfac relaţii de forma primei teoreme a lui Kirchhoff şi cu „y" variabilele care satisfac relaţii de forma celei de a doua teoreme. În cazurile concrete, variabila „x" poate reprezenta, de exemplu, un curent electric sau debitul unui fluid iar variabila „y" poate reprezenta o cădere de tensiune electrică sau o cădere de presiune.

Un procedeu de simplificare a calculului circuitelor liniare este acela al transfigurărilor

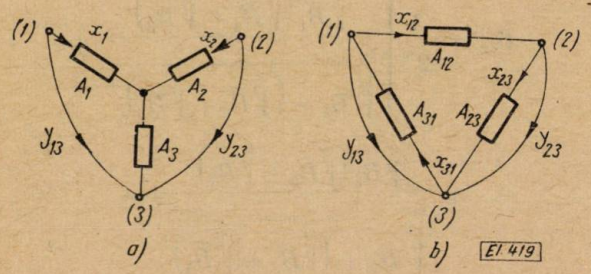


Fig. 1. Specificarea mărimilor caracteristice pentru o subreţea în formă de stea (a) şi în formă de triunghi (b) la circuitele cu neliniarităţi de tipul $y = Ax^m$.

topologice. Conform teoremelor de transfigurare, o reţea formată din N dipoli legaţi în serie sau în paralel se poate înlocui printr-un singur dipol : de asemenea, o subreţea de forma unei stele cu N braţe se poate înlocui cu o subreţea în formă de poligon complet cu $N(N-1)/2$ laturi, iar în cazul particular al subreţelei cu trei elemente este complet determinată şi transfigurarea inversă — din triunghi în stea. Formularea teoremelor de transfigurare pentru cele mai generale cazuri ale reţelelor liniare (cînd există elemente active şi cuplaje mutuale) a fost făcută de C. I. Mocanu [8].

Problema transfigurării triunghi-stea

Pentru circuitele formate din dipoli neliniari, transfigurarea triunghi-stea şi stea-triunghi (fig. 1) este posibilă numai dacă subreţeaua considerată satisface condiţiile necesare stabilite de Millar [7].

$$\frac{\partial^3 G(x_1, x_2)}{\partial x_1^2 \, \partial x_2} - \frac{\partial^3 G(x_1, x_2)}{\partial x_1 \, \partial x_2^2} = 0 \qquad (1)$$

$$ST(S+T)\frac{\partial^3 G}{\partial x_1^3} - (RS^2 + 2RST + 2ST^2 + T^3)\cdot\frac{\partial^3 G}{\partial x_1^2 \, \partial x_2} \qquad (2)$$

$$- RT(R+T)\frac{\partial^3 G}{\partial x_2^3} + (R^2S + 2RST + 2RT^2 + T^3)\frac{\partial^3 G}{\partial x_1 \, \partial x_2^2} = 0,$$

în care : $R = \partial^2 G/\partial x_1^2$; $S = \partial^2 G/\partial x_2^2$; $T = \partial^2 G/\partial x_1 \, \partial x_2$ iar $G(x_1, x_2)$ este o funcţiune

* Ing. *A. Al. Crăciunescu* şi ing. *S. Al. Bucurenciu* sînt asistenţi la Institutul politehnic — Bucureşti.

potențială ce caracterizează complet un tripol reciproc *.

B. Rokowska și Z. Szmorliński [10] au analizat cazul transfigurării triunghi-stea pentru subrețelele formate din elemente identice, cu neliniarități de tipul $y = Ax^m$ și au constatat că o rezolvare valabilă pentru orice valori ale mărimilor de regim nu este posibilă. Trebuie remarcat că funcțiunea $G(x_1, x_2)$ asociată unei asemenea subrețele satisface condițiile necesare (1) și (2), însă aceasta nu este suficient.

Pentru circuitele cu neliniarități de tipul $y = Ax^2$, E. Koziej [5], [6], a stabilit relații aproximative pentru transfigurarea triunghi-stea, care permit uneori să se obțină o precizie satisfăcătoare (de circa 10%), în calculul sistemelor de ventilație ale mașinilor electrice.

Folosind dezvoltarea în serie Fourier, S. L. Farhi [3] a rezolvat problema transfigurării triunghi-stea și stea-triunghi în cazul particular în care subreteaua ce urmează a fi transfigurată conține un singur element neliniar.

În prezenta lucrare se examinează problema transfigurării triunghi-stea și stea-triunghi pentru rețelele cu neliniarități de tipul $y = Ax^m$. Se consideră numai cazul în care toți dipolii au același grad de neliniaritate „m". Pentru calculul coeficienților subrețelei transfigurate se propune un procedeu iterativ foarte convergent. Se stabilesc relații orientative pentru valorile inițiale ale parametrilor de la care trebuie să se pornească calculul iterativ. Se aplică procedeul propus la calculul circuitului de ventilație al unui turbogenerator sincron.

Relații de transfigurare

Este ușor de arătat că o subrețea formată din N elemente de coeficienți A_i $(i = 1,2 \ldots N)$ conectate în serie se poate înlocui cu o subrețea formată dintr-un singur element de coeficient:

$$A^{(s)} = \sum_{i=1}^{N} A_i, \tag{3}$$

iar o subrețea formată din N elemente de coeficienți A_j $(j = 1,2,\ldots N)$ conectate în paralel se poate înlocui cu o subrețea formată dintr-un singur element de coeficient:

$$A^{(p)} = \left(\sum_{j=1}^{N} A_i^{-1/m} \right)^{-m}. \tag{4}$$

Pentru transfigurarea triunghi-stea sau stea-triunghi coeficienții subrețelei echivalente, la regimul considerat, se determină printr-un calcul iterativ. Numărul de iterații necesare obținerii unei anumite precizii poate fi redus dacă pentru valorile inițiale, de la care se pornește calculul, se admit valorile date de relațiile (5), respectiv (6). Stabilirea acestor relații orientative este prezentată în anexă, fiind preluată din [2].

Valorile orientative ale coeficienților elementelor componente ale unei subrețele în formă de stea echivalentă cu o subrețea în formă de triunghi (fig. 1) sînt de forma:

$$A_1^{(0)} = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{\sqrt[m]{A_{12}} \cdot \sqrt[m]{A_{23} + A_{31}}}{\sqrt[m]{A_{12}} + \sqrt[m]{A_{23} + A_{31}}} \right)^m - \left(\frac{\sqrt[m]{A_{23}} \cdot \sqrt[m]{A_{31} + A_{12}}}{\sqrt[m]{A_{23}} + \sqrt[m]{A_{31} + A_{12}}} \right)^m + \left(\frac{\sqrt[m]{A_{31}} \cdot \sqrt[m]{A_{12} + A_{23}}}{\sqrt[m]{A_{31}} + \sqrt[m]{A_{12} + A_{23}}} \right)^m \right]. \tag{5}$$

Expresiile coeficienților $A_2^{(0)}$ și $A_3^{(0)}$ se obțin prin permutări circulare.

Valorile orientative ale inverșilor coeficienților elementelor componente ale unei subrețele în formă de triunghi, echivalentă cu o subrețea în formă de stea, sînt de forma:

$$B_{12}^{(0)} = \frac{1}{2^m}\left[\frac{\sqrt[m]{B_1}\left(\sqrt[m]{B_2} + \sqrt[m]{B_3}\right)}{\sqrt[m]{B_1 + \left(\sqrt[m]{B_2} + \sqrt[m]{B_3}\right)^m}} + \frac{\sqrt[m]{B_2}\left(\sqrt[m]{B_3} + \sqrt[m]{B_1}\right)}{\sqrt[m]{B_2 + \left(\sqrt[m]{B_3} + \sqrt[m]{B_1}\right)^m}} - \frac{\sqrt[m]{B_3}\left(\sqrt[m]{B_1} + \sqrt[m]{B_2}\right)}{\sqrt[m]{B_3 + \left(\sqrt[m]{B_1} + \sqrt[m]{B_2}\right)^m}} \right]^m, \tag{6}$$

unde s-a făcut notația $B = A^{-1}$. Pentru $B_{23}^{(0)}$ și $B_{31}^{(0)}$ se obțin expresii similare prin permutări circulare.

Drept criteriu de apreciere a preciziei cu care sînt determinați coeficienții A, într-o anu-

* W. Millar a arătat că dacă se cunoaște funcțiunea $G(x_1, x_2)$ asociată unui tripol reciproc, atunci se pot scrie imediat ecuațiile complete ale tripolului:

$$\begin{cases} y_{13} = \partial G/\partial x_1 \\ y_{23} = \partial G/\partial_{x_2} \end{cases}$$

Pentru o subrețea în formă de stea (fig. 1,*a*) formată din dipoli cu neliniarități de tipul $y = Ax^m$, funcțiunea $G(x_1, x_2)$ are expresia:

$$G(x_1, x_2) = \frac{A_1}{m+1} x_1^{m+1} + \frac{A_2}{m+1} x_2^{m+1} + \frac{A_3}{m+1} (x_{1+2})^{m+1}$$

mită etapă a procedeului iterativ, se foloseşte valoarea erorii relative cu care sînt satisfăcute cele două teoreme ale lui Kirchhoff de către întregul circuit din care face parte subreţeaua transfigurată. Ca valoare de referinţă faţă de care se calculează eroarea relativă cu care este satisfăcută o anumită teoremă a lui Kirchhoff se poate lua suma modulelor tuturor elementelor care intervin în expresia numerică a acelei teoreme.

Pentru a micşora erorile, din schemele transfigurate se determină numai necunoscutele strict necesare urmînd ca restul necunoscutelor să se determine din schema echivalentă iniţială.

Etapele procedeului iterativ

Calculul coeficienţilor unei subreţele echivalente obţinute în urma realizării unor transfigurări triunghi-stea sau stea-triunghi trebuie să se efectueze în următorele etape.

a) Se determină valorile orientative $A_j^{(0)}$ ale coeficienţilor subreţelelor transfigurate, folosind relaţiile (5) sau (6). Se calculează valorile $x_i^{(0)}$ corespunzătoare. Se verifică apoi precizia cu care sînt satisfăcute cele două teoreme ale lui Kirchhoff de către mărimile determinate. Dacă erorile relative depăşesc limitele admisibile, calculul trebuie continuat.

b) Se înlocuiesc elementele neliniare ale subreţelei care trebuie transfigurată, cu elemente liniare ale căror caracteristici au pantele:

$$L_i^{(1)} = A_i \, [x_i^{(0)}]^{m-1}. \qquad (7)$$

Se transfigurează subreţeaua astfel liniarizată. Pantele $L_j^{(1)}$ ale elementelor subreţelei echivalente se determină, evident, cu relaţiile de transfigurare de la reţelele liniare.

Se înlocuiesc apoi elementele liniare ale subreţelei transfigurate cu elemente neliniare de coeficienţi:

$$A_j^{(1)} = \frac{L_j^{(1)}}{[x_j^{(0)}]^{m-1}}. \qquad (8)$$

Cu noile valori $A_j^{(1)}$ ale coeficienţilor se calculează reţeaua şi se verifică precizia cu care sînt satisfăcute cele două teoreme ale lui Kirchhoff de către valorile $x_i^{(1)}$ determinate în această etapă. Dacă erorile relative nu au valori admisibile, se continuă calculul parcurgînd o altă etapă de tipul (b). În noua etapă, calculul porneşte de la valorile $x_i^{(1)}$ determinate mai înainte.

Alegerea subreţelelor care urmează a fi transfigurate nu este indiferentă întotdeauna. Se pot întîlni situaţii în care numărul de iteraţii necesare obţinerii unei anumite precizii să difere în funcţiune de alegerea făcută.

Trebuie să se precizeze că, în general, valorile coeficienţilor A determinaţi pentru reţeaua transfigurată sînt valabile numai în regimul considerat, pentru alte valori ale mărimilor de regim fiind necesar să se efectueze un calcul similar.

Exemplu de calcul

Schema echivalentă a circuitului de ventilaţie al unui turbogenerator sincron de 60 MVA răcit cu hidrogen este prezentată în fi-

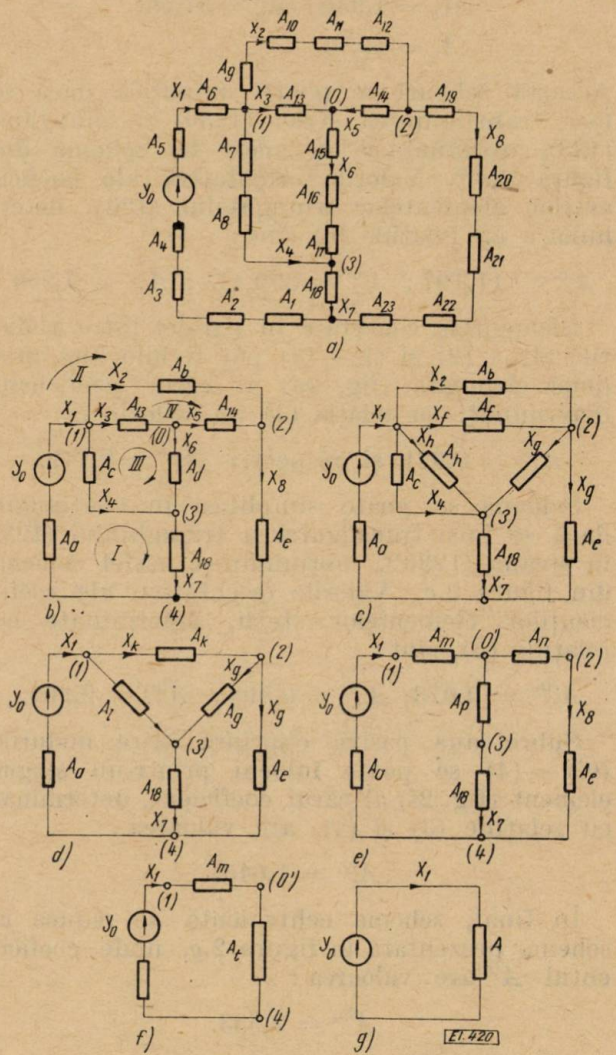


Fig. 2. Succesiunea etapelor de simplificare a calculului circuitului de ventilaţie al unei maşini electrice.

gura 2,*a*. Cele 23 de elemente componente, cu neliniarităţi de tipul $y = Ax^2$, au următoarele valori pentru coeficienţi (în Ns^2/m^8):

$A_1 = 0{,}025$	$A_9 = 0{,}200$	$A_{17} = 0{,}225$
$A_2 = 0{,}035$	$A_{10} = 0{,}100$	$A_{18} = 0{,}175$
$A_3 = 0{,}500$	$A_{11} = 0{,}150$	$A_{19} = 7{,}500$
$A_4 = 0{,}125$	$A_{12} = 1{,}500$	$A_{20} = 35{,}50$
$A_5 = 0{,}125$	$A_{13} = 0{,}750$	$A_{21} = 10{,}50$
$A_6 = 0{,}005$	$A_{14} = 7{,}500$	$A_{22} = 2{,}800$
$A_7 = 10$	$A_{15} = 4$	$A_{23} = 1{,}250$
$A_8 = 5{,}750$	$A_{16} = 1{,}250$	

Trebuie să se determine valorile x_i ale debitelor corespunzătoare unei presiuni $y_0 = 300$ N/m² asigurată de ventilator.

Rezolvare. Se înlocuiesc grupurile de elemente conectate în serie, prin cîte un singur element al cărui coeficient se determină cu relaţia (3). Se obţine schema din figura 2,*b*, în care :

$$A_a = 0{,}815 \quad A_d = 5{,}475$$
$$A_b = 1{,}950 \quad A_e = 57{,}55.$$
$$A_c = 15{,}75$$

Această schemă se poate simplifica dacă se face transfigurarea stelei (1230) în triunghiul (123), obţinîndu-se în acest fel schema din figura 2,*c* *. Valorile orientative ale coeficienţilor elementelor triunghiului (123), determinate cu relaţiile (6) sînt :

$$A_f^{(0)} = 11{,}197\,; \quad A_g^{(0)} = 309{,}413\,; \quad A_h^{(0)} = 7{,}960.$$

Elementele conectate în paralel între nodurile (1) — (2) şi (1) — (3) pot fi înlocuite prin două elemente (fig. 2*d*) ai căror coeficienţi determinaţi cu relaţia (4) au valorile :

$$A_k^{(0)} = 0{,}971 \text{ şi respectiv } A_l^{(0)} = 2{,}719.$$

Schema se poate simplifica în continuare dacă se face transfigurarea triunghiului (123) în steaua (1230'), obţinîndu-se astfel schema din figura 2,*e*. Valorile orientative ale coeficienţilor elementelor stelei, determinate cu relaţiile (5), sînt :

$$A_m^{(10)} = 0{,}073; \quad A_n^{(0)} = 0{,}798\,; \quad A_p^{(0)} = 2{,}201.$$

Subreţeaua pasivă cuprinsă între nodurile (0') — (4) se poate înlocui printr-un singur element (fig. 2f) al cărui coeficient, determinat cu relaţiile (3) şi (4), are valoarea :

$$A_t^{(0)} = 1{,}645.$$

În final, schema echivalentă se reduce la schema prezentată în figura 2,*g*, unde coeficientul $A^{(0)}$ are valoarea :

$$A^{(0)} = 2{,}533.$$

Debitul $x_1^{(0)}$ va fi deci :

$$x_1^{(0)} = \sqrt{\frac{y_0}{A^{(0)}}} = \sqrt{\frac{300}{2{,}533}} = 10{,}883 \text{ m}^3/\text{s}$$

Folosind teoremele lui Kirchhoff pentru schema din figura 2,*e* se obţin valorile debitelor ;

$$x_7^{(0)} = 9{,}056 \text{ m}^3/\text{s}\,;$$
$$x_8^{(0)} = 1{,}827 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Valorile celorlalte debite se obţin prin aplicarea primei teoreme a lui Kirchhoff în toate nodurile independente ale reţelei din figura 2, *b* şi prin aplicarea celei de a doua teoreme pe ochiurile *I* şi *II* ale aceleiaşi reţele. Rezultă în final :

$$x_2^{(0)} = 2{,}404 \text{ m}^3/\text{s}\,; \quad x_5^{(0)} = 0{,}677 \text{ m}^3/\text{s}\,;$$
$$x_3^{(0)} = 5{,}014 \text{ m}^3/\text{s}\,; \quad x_6^{(0)} = 5{,}691 \text{ m}^3/\text{s}.$$
$$x_4^{(0)} = 3{,}465 \text{ m}^3/\text{s}\,;$$

Se verifică acum precizia cu care este satisfăcută cea de-a doua teoremă a lui Kirchhoff scrisă pentru ochiurile *III* şi respectiv *IV*.

Pentru ochiul *III* rezultă următoarea eroare absolută :

$$0{,}75 \cdot 5{,}014^2 + 5{,}475 \cdot 5{,}691^2 - 15{,}75 \cdot$$
$$\cdot\, 3{,}465^2 = 6{,}75 \text{ N/m}^2.$$

Alegînd ca valoare de referinţă suma modulelor tuturor termenilor din expresia teoremei, mărimea erorii relative va fi :

$$\varepsilon_{III}^{(0)}\% = \frac{6{,}75}{385}\,100 = 1{,}75\%.$$

Pentru ochiul *IV* se realizează următoarea eroare absolută :

$$1{,}95 \cdot 2{,}404^2 + 7{,}5 \cdot 0{,}677^2 - 0{,}75 \cdot 5{,}014^2 =$$
$$= -\,4{,}18 \text{ N/m}^2.$$

Eroarea relativă corespunzătoare este :

$$\varepsilon_{IV}^{(0)}\% = -\frac{4{,}18}{33{,}52}\,100 = -\,12{,}5\%.$$

Valoarea relativă a erorii corespunzătoare ochiului *IV* fiind mare este necesar să se continue calculul. În acest scop, trebuie să se determine în prealabil valorile debitelor din schemele intermediare (fig. 2 *c*, *d*, *e*) Se obţine :

$$x_f^{(0)} = 1{,}003 \text{ m}^3/\text{s}\,; \quad x_i^{(0)} = 8{,}339 \text{ m}^3/\text{s}\,;$$
$$x_h^{(0)} = 4{,}874 \text{ m}^3/\text{s}\,; \quad x_g^{(0)} = 1{,}580 \text{ m}^3/\text{s}.$$
$$x_k^{(0)} = 3{,}407 \text{ m}^3/\text{s}\,;$$

Elementele stelei (1230) se înlocuiesc prin elemente liniare ale căror caracteristici au următoarele pante (în Ns/m⁵) :

$$L_{13}^{(1)} = A_{13} \cdot Q_3^{(0)} = 0{,}75 \cdot 5{,}014 = 3{,}760\,;$$
$$L_{14}^{(1)} = 5{,}076 \text{ şi } L_d^{(1)} = 31{,}158.$$

Steaua astfel liniarizată se transfigurează într-un triunghi ale cărui elemente au caracteristici cu pantele :

$$L_f = \frac{L_{13}^{(1)} L_{14}^{(1)} + L_{14}^{(1)} L_d^{(1)} + L_d^{(1)} L_{13}^{(1)}}{L_d^{(1)}} =$$
$$= \frac{3{,}760 \cdot 5{,}076 + 5{,}076 \cdot 31{,}158 + 31{,}158 \cdot 3{,}760}{31{,}158} =$$
$$= 9{,}450\,;$$
$$L_g^{(1)} = 78{,}3 \text{ şi } L_h^{(1)} = 58.$$

* Se putea alege, de exemplu, triunghiul (120) pentru a fi transfigurat în stea însă în cazul dat această alegere nu influenţează numărul de iteraţii necesare obţinerii unei precizii satisfăcătoare.

Coeficienţii elementelor neliniare prin care se înlocuiesc acum elementele triunghiului sînt :

$$A_f^{(1)} = \frac{L_f^{(1)}}{x_f^{(0)}} = \frac{9{,}450}{1{,}003} = 9{,}421 ;$$

$$A_g^{(1)} = 49{,}55 \text{ şi } A_h^{(1)} = 11{,}9.$$

Cu aceste valori, aplicînd relaţia (4), se obţin coeficienţii :

$$A_k^{(1)} = 0{,}921 \text{ şi } A_l^{(1)} = 3{,}406.$$

Se înlocuiesc elementele triunghiului (123) prin elemente liniare ale căror caracteristici au pantele :

$$L_k^{(1)} = A_k^{(1)} \, Q_k^{(0)} = 0{,}921 \, . \, 3{,}407 = 3{,}138 ;$$

$$L_g^{(1)} = 78{,}300 \text{ şi } L_l^{(1)} = 28{,}403.$$

Triunghiul astfel liniarizat se transfigurează într-o stea ale cărei elemente au pantele :

$$L_m^{(1)} = \frac{L_k^{(1)} \cdot L_l^{(1)}}{L_k^{(1)} + L_g^{(1)} + L_l^{(1)}} =$$

$$= \frac{3{,}138 \cdot 28{,}403}{3{,}138 + 78{,}300 + 28{,}403} = 0{,}811 ;$$

$$L_n^{(1)} = 2{,}237 \text{ şi } L_p^{(1)} = 20{,}338.$$

Coeficienţii elementelor neliniare prin care se înlocuiesc elementele stelei au valorile :

$$A_m^{(1)} = \frac{L_m^{(1)}}{x_1^{(0)}} = \frac{0{,}811}{10{,}883} = 0{,}078 ;$$

$$A_n^{(1)} = 1{,}224 \text{ şi } A_p^{(1)} = 2{,}246.$$

Cu aceste valori, pentru schema din figura 2*g*, se obţine :

$$A^{(1)} = 2{,}562.$$

Debitele $x_i^{(1)}$, calculate ca în etapa precedentă dar folosind noile valori ale coeficienţilor, sînt (în m^3/s) :

$$x_1^{(1)} = 10{,}820 ; \qquad x_5^{(1)} = 0{,}747 ;$$

$$x_2^{(1)} = 2{,}572 ; \qquad x_6^{(1)} = 5{,}518 ;$$

$$x_3^{(1)} = 4{,}771 ; \qquad x_7^{(1)} = 8{,}995 ;$$

$$x_4^{(1)} = 3{,}477 ; \qquad x_8^{(1)} = 1{,}825.$$

Valorile relative ale erorilor cu care este verificată cea de-a doua teoremă a lui Kirchhoff scrisă pentru ochiurile *III* şi respectiv *IV* sînt satisfăcătoare :

$$\varepsilon_{III}^{(1)} \% = -1{,}75\% \quad \text{şi} \quad \varepsilon_{IV}^{(1)} \% = 0{,}04\%,$$

deci calculul se poate considera terminat.

Concluzii

Metodele de transfigurare folosite la simplificarea calculelor circuitelor liniare se pot aplica şi la unele circuite neliniare. În lucrare se examinează cazul circuitelor cu neliniarităţi de tipul $y = Ax^m$ la care exponentul „*m*" are aceeaşi valoare pentru toate elementele.

Transfigurarea triunghi-stea şi stea-triunghi se poate face numai pentru un regim dat, pentru un alt regim decît cel considerat fiind necesar să se facă un calcul similar.

Procedeul iterativ propus pentru calculul coeficienţilor unei subreţele transfigurate este foarte convergent. La reţelele la care $m = 2$ sînt necesare cel mult două iteraţii pentru a se obţine o precizie satisfăcătoare.

Aplicînd procedeul propus la calculul circuitului de ventilaţie al unei maşini electrice, rezultatele se obţin mult mai repede decît prin procedeele iterative obişnuite [6], [12].

ANEXĂ

Stabilirea expresiilor de calcul pentru valorile orientative ale coeficienţilor A la transfigurarea triunghi-stea şi stea-triunghi a reţelelor cu neliniarităţi de forma $y = Ax^m$ [2]

a) Transfigurarea triunghi-stea. Pentru subreţelele prezentate în figura 1 se consideră regimul particular definit prin relaţiile : $x_{23} = x_{31}$ şi, respectiv, $x_3 = 0$. În raport cu nodurile (1) şi (2), atît subreţeaua în triunghi, cît şi subreţeaua în stea se poate înlocui prin cîte un singur element al cărui coeficient A se determină exact cu formulele (1) şi (2). Din condiţia ca cele două elemente astfel determinate să fie identice, rezultă egalitatea :

$$A_1 + A_2 = \left(\frac{\sqrt[m]{A_{12}} \cdot \sqrt[m]{A_{23} + A_{31}}}{\sqrt[m]{A_{12}} + \sqrt[m]{A_{23} + A_{31}}} \right)^m .$$

Considerînd şi celelalte două regimuri particulare, definite prin relaţiile : $x_{31} = x_{12}$; $x_1 = 0$ şi respectiv $x_{12} = x_{23}$; $x_2 = 0$, se obţin încă două egalităţi similare.

Prin suprapunerea celor trei regimuri particulare este evident că nu va rezulta un regim posibil pentru subreţeaua considerată, deoarece aceasta nu este liniară. Soluţiile obţinute prin rezolvarea sistemului format din cele trei ecuaţii corespunzătoare regimurilor particulare indicate nu vor fi deci valorile exacte ale coeficienţilor A_1, A_2 şi A_3 ai subreţelei transfigurate ; ele vor fi însă cu atît mai aproape de aceste valori cu cît abaterea de la liniaritate (caracterizată prin exponentul *m*) este mai mică. Se obţin deci expresiile orientative :

$$A_1^{(0)} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\sqrt[m]{A_{12}} \cdot \sqrt[m]{A_{23} + A_{31}}}{\sqrt[m]{A_{12}} + \sqrt[m]{A_{23} + A_{31}}} \right)^m - \right.$$

$$- \left(\frac{\sqrt[m]{A_{23}} \cdot \sqrt[m]{A_{31} + A_{12}}}{\sqrt[m]{A_{23}} + \sqrt[m]{A_{31} + A_{12}}} \right)^m +$$

$$\left. + \left(\frac{\sqrt[m]{A_{31}} \cdot \sqrt[m]{A_{12} + A_{23}}}{\sqrt[m]{A_{31}} + \sqrt[m]{A_{12} + A_{23}}} \right)^m \right],$$

expresiile pentru $A_2^{(0)}$ şi $A_3^{(0)}$ se pot obţine prin permutări circulare *.

b) *Transfigurarea stea-triunghi.* Pentru subreţelele prezentate în figura 1 se consideră regimul particular definit prin rela-

* E. Koziej [5] a stabilit aceste expresii în cazul în care m=2.

ţiile : $y_{23} = 0$ şi respectiv $x_{23} = 0$. În raport cu nodurile (1) şi (2) — (3), atît subreţeaua în stea cît şi subreţeaua în triunghi se poate înlocui prin cîte un singur element al cărui coeficient se determină exact cu formulele (1) şi (2). Din condiţia ca cele două elemente astfel determinate să fie identice, rezultă egalitatea :

$$\sqrt[m]{B_{12}} + \sqrt[m]{B_{31}} = \frac{\sqrt[m]{B_1}\left(\sqrt[m]{B_2} + \sqrt[m]{B_3}\right)}{\sqrt[m]{B_1 + \left(\sqrt[m]{B_2} + \sqrt[m]{B_3}\right)^m}}.$$

Considerînd şi celelalte două regimuri particulare, definite prin relaţiile : $y_{31} = 0$ şi $x_{31} = 0$, respectiv $y_{12} = 0$ şi $x_{12} = 0$ se obţin încă două egalităţi similare.

Şi în acest caz este evident că prin suprapunerea celor trei regimuri particulare nu va rezulta un regim posibil pentru subreţeaua considerată, aceasta fiind neliniară. Soluţiile obţinute prin rezolvarea sistemului format din cele trei ecuaţii corespunzătoare regimurilor particulare indicate, nu vor fi deci valorile exacte ale mărimilor B_{12}, B_{23} şi B_{31} ale subreţelei transfigurate. Se obţin expresiile orientative :

$$B_{12}^{(0)} = \frac{1}{2^m}\left[\frac{\sqrt[m]{B_1}\left(\sqrt[m]{B_2} + \sqrt[m]{B_3}\right)}{\sqrt[m]{B_1 + \left(\sqrt[m]{B_2} + \sqrt[m]{B_3}\right)^m}} + \right.$$

$$+ \frac{\sqrt[m]{B_2}\left(\sqrt[m]{B_3} + \sqrt[m]{B_1}\right)}{\sqrt[m]{B_2 + \left(\sqrt[m]{B_3} + \sqrt[m]{B_1}\right)^m}} -$$

$$\left. - \frac{\sqrt[m]{B_3}\left(\sqrt[m]{B_1} + \sqrt[m]{B_2}\right)}{\sqrt[m]{B_3 + \left(\sqrt[m]{B_1} + \sqrt[m]{B_2}\right)^m}}\right],$$

expresiile pentru $B_{23}^{(0)}$ şi $B_{31}^{(0)}$ se pot obţine prin permutări circulare.

Bibliografie

[1] *Birkhoff, G.*, şi *Diaz, J. B.* Non-linear Network Problemes. În : Quart. Appl. Math. Bd. 12, 1956, p. 431.

[2] *Crăciunescu, Al. A.* Scheme echivalente şi problema transfigurării reţelelor de caracteristică neliniară. Comunicare făcută la cea de-a X-a Sesiune ştiinţifică a Institutului politehnic din Bucureşti, 27—29 mai, 1966.

[3] *Farhi, S. L.* Preobrazovenie aktivnovo treugolnike s odnim nelineinim elementom v trehlucevuiu svezdu i obratno. In : Elektricestvo, nr. 1, 1967, p. 82—84.

[4] *Ivanov, Iu. S.* Obşcie prinţipî graficescovo rasceta shem zamescenia ventilaţionnîh sistem electriceskih maşin. În : Elektromaşînostroienie i elektrooborudovanie, vîpusc 5, 1967, p. 39—43.

[5] *Koziej, E.* Zastosowanie przeksztalcenia trojkat-gwiazda do rozwiazywania przekatnych ukladów przewietrzeniowych maszyn elektrycznych. Zeszyty naukowe politechniki Warszawskiej. În : Elektryka, 46, Bd. **133**, 1966, p. 67—74.

[6] *Koziej, E.* Berechnung der verzweigten Ventilationsnetze von elektrischen Maschinen. În : XIII. Intern. Wiss. Koll. T. H. Ilmenau, H. 6, Elektrische Maschinen sep. 1968, p. 45—49.

[7] *Millar, W.* The Non-linear Resistive 3-Pole : Some General Concepts. Proc. of the Symposium on Nonliner Circuits Analysis. Polytechnic Institute of Brooklyn, New York 25—27 April 1956, p. 367—398.

[8] *Mocanu, C. I.* Transfigurările topologice ale reţelelor electrice. În : Bul. Inst. politehnic din Bucureşti, **XIX**, nr. 3—4, 1957, p. 215—253.

[9] *Philippow, E.* Nichtlineare Elektrotechnik. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K. G., Leipzig, 1963.

[10] *Rokowska, B.* şi *Szmorliński, Z.* Obwody przewietrzeniowe maszyn elektrycznych a przeksztalcenie gwiazda-trójkat. Archivum elektrotechniki Bd. **XVII**, nr. 1, 1968, p. 41—46.

[11] *Scott, D. R. Hinsley, F. B.* Ventilation network theory. Londra Colliery Engng, 1951.

[12] *Scott, D. R.* Soving ventilation — network problems by machine. Londra, Colliery Engng 1952; p. 410

Intrat în redacţie la 10. VII.1969

Cu privire la calculul rezistenţelor de pornire la motorul trifazat de inducţie cu inele

IOAN TURCU* — TIMIŞOARA

CZ 621. 313. 333. 1—573 : 621. 3. 077. 14

În cazul unor acţionări cu motoare asincrone, în scopul micşorării şocului la pornire, se obişnuieşte să se introducă în circuitul rotoric al motorului rezistenţe suplimentare avînd valori mult mai mari majorate faţă de rezistenţele normale de pornire. Literatura de specialitate conţine puţine informaţii privind calculul valorii acestor rezistenţe suplimentare. De asemenea, nu se indică nici modul de creştere al acceleraţiei în această perioadă a pornirii.

În această lucrare se stabileşte ecuaţia mişcării în perioada pornirii şi se elaborează o metodă de calcul pentru determinarea rezistenţelor de intercalat în circuitul rotoric în vederea realizării mişcării cu o acceleraţie variabilă iniţial impusă.

1. Ecuaţia mişcării în perioada pornirii

În scopul micşorării şocului, pornirea trebuie să se facă în prima parte cu acceleraţie medie variabilă, care creşte treptat pînă la o valoare

* Dr. *ing. I. Turcu* este conferenţiar la Universitatea din Timişoara.

medie, de obicei dinainte impusă, valoare ce rămîne constantă în a doua parte a pornirii.

Se demonstrează [2] că pentru o creștere corespunzătoare a accelerației (accelerație mare cu șocuri mici) ecuația vitezei mecanismului de acționat, are forma :

$$v = \frac{a}{2t_A} t^2 \tag{1}$$

sau, raportată la motorul de acționare :

$$\Omega = \frac{1}{k_0} \frac{a}{2t_A} t^2, \tag{2}$$

unde :

a este accelerația medie constantă din a doua parte a pornirii ;
t_A — timpul perioadei cu accelerație variabilă ;
Ω — viteza unghiulară a motorului ;
k_0 — raportul dintre v și Ω.

Stabilirea ecuației mișcării, în perioada cu accelerație variabilă, se face pornind de la ecuația cunoscută a mișcării :

$$M - M_r = \theta \frac{d\Omega}{dt}, \tag{3}$$

care, ținînd seama de (2) devine :

$$M - M_r = \theta \frac{a}{k_0 t_A} t, \tag{4}$$

sau, înlocuind pe t în funcție de Ω, se obține :

$$M - M_r = \theta \sqrt{\frac{2a}{k_0 t_A}} \sqrt{\Omega}. \tag{5}$$

Relațiile (4) și (5) sînt valabile de la $t = 0$ pînă la $t = t_A$

În cazul motorului asincron, relația (5) se poate pune sub forma :

$$M - M_r = C\sqrt{1 - s}, \tag{6}$$

unde :

s este alunecarea motorului ;

$$C = \theta \sqrt{\frac{2a}{k_0 t_A} \Omega_0}; \tag{7}$$

Ω_0 — viteza unghiulară sincronă a motorului.

Relația (6) e valabilă pentru valori ale alunecării cuprinse între $s = 1$ și $s = s_A$ unde :

$$s_A = \frac{\Omega_0 - \Omega_A}{\Omega_0} = 1 - \frac{a\, t_A}{2k_0 \Omega_0}. \tag{8}$$

Determinarea valorii t_A se face cu considerare la valoarea admisibilă a mărimii $\frac{d^2v}{dt^2}$ ce se alege în prealabil.

Rezultă, ținînd seama de relația (1) :

$$t_A = \frac{a}{\frac{d^2v}{dt^2}}. \tag{9}$$

În perioada pornirii cu accelerație constantă, ecuația mișcării are forma :

$$M - M_r = \theta \frac{a}{k_0} \tag{10}$$

valabilă de la $t = t_A$ pînă la ieșire pe caracteristica naturală.

2. Calculul treptelor de pornire

2. 1. În cazul pornirii prin intercalare de rezistențe în circuitul rotoric, momentul M al motorului de acționare variază în trepte, în funcție de valoarea rezistențelor de pornire, de durata staționării pe fiecare treaptă și de momentul rezistent M_r al mecanismului de acționat.

Pentru ca șocul , la trecerea de la o treaptă la alta, să nu fie prea mare e necesar ca coeficientul de neuniformitate al momentului

$$k_M = \frac{M_{max} - M_{min}}{2M_{med}}, \tag{11}$$

unde :

$$M_{med} = \frac{M_{max} + M_{min}}{2}, \tag{12}$$

să nu depășească o anumită limită admisibilă [4].

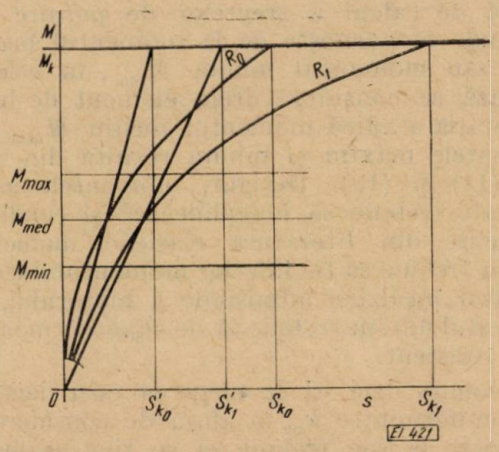


Fig. 1. Asimilarea cu drepte a caracteristicilor $M = f(s)$ ale motorului de inducție trifazat cu inele.

În cele ce urmează se elaborează o metodă de calcul pentru determinarea treptelor de pornire ținînd seama de coeficientul de neuniformitate k_M și de ecuațiile mișcării din cele două perioade ale pornirii.

2. 2. Calculul se face în situația că se asimilează curbele caracteristice ale motorului

cu drepte ce pornesc din origine, adică se pot scrie, conform figurii 1, relațiile:

$$\frac{R_0}{R_1} = \frac{s_{k0}}{s_{k1}} = \frac{s'_{k0}}{s'_{k1}} \text{ sau, în general,}$$

$$\frac{R_p}{R_{p+1}} = \frac{s_{kp}}{s_{kp+1}} = \frac{s'_{kp}}{s'_{kp+1}}. \qquad (13)$$

Eroarea ce se introduce prin această aproximație este neglijabilă [3].

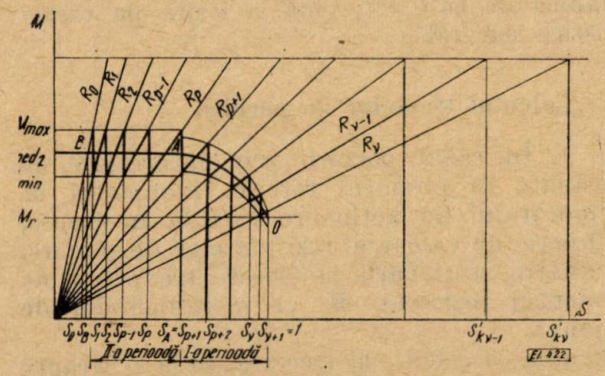


Fig. 2. Caracteristicile $M = f(s)$ la pornirea motorului de inducție trifazat în cele două perioade: cu accelerație variabilă și accelerație constantă.

De asemenea, se presupune că se cunoaște variația momentului mediu $M_{med} = f(s)$ în perioada pornirii (curba OAB din fig. 2) calculat după relațiile (6) și (10), adică se cunoaște accelerația a și cuplul rezistent M_r.

2. 3. Pentru perioada pornirii cu accelerație medie constantă, spre deosebire de metoda clasică de calcul a treptelor de pornire [1], [5] unde se pornește de la momentul maxim M_{max} sau momentul minim M_{min}, în cele ce urmează se consideră drept element de bază, accelerația a adică momentul mediu $M_{med\,2}$ iar momentele maxim și minim rezultă din relațiile (11) și (12). Desigur, momentele astfel rezultate trebuie să îndeplinească și condițiile cunoscute din literatura clasică: momentul maxim trebuie să fie inferior momentului corespunzător încălzirii admisibile a motorului, iar momentul minim trebuie să fie superior momentului rezistent.

Înseamnă deci că la alegerea coeficientului de neuniformitate k_{M2} în afară de considerente privitoare la șoc trebuie să se țină seama și de valorile admisibile ale momentului maxim și minim ce rezultă [4].

Pentru această perioadă, se poate scrie:

$$\frac{R_p}{R_0} = \frac{s_{p+1}}{s_1} = \rho_2^p; \qquad (14)$$

$$\rho_2 = \frac{s_1}{s_0} = \frac{R_1}{R_0} = \frac{M_{max}}{M_{min}}; \qquad (15)$$

$$\rho_2 = \frac{1 + k_{M2}}{1 - k_{M2}}; \qquad (16)$$

$$s_B = \frac{s_0 + s_1}{2}, \qquad (17)$$

iar din relațiile (15) și (17) rezultă:

$$s_1 = \frac{2 s_B \rho_2}{\rho_2 + 1}, \qquad (18)$$

unde:

ρ_2 este rația progresiei geometrice a valorii treptelor de rezistență;

p — numărul de trepte ale perioadei cu accelerație constantă:

$$s_B = s_{k0}(\lambda_B - \sqrt{\lambda_B^2 - 1}) \qquad (19)$$

cu $\lambda_B = \frac{M_k}{M_{med2}}$ unde M_k este cuplul de răsturnare

s_{k0} — alunecarea de răsturnare corespunzătoare rezistenței R_0

iar din relațiile (14) și (18) se obține:

$$\rho_2^p = \frac{s_A(\rho_2 + 1)}{2 s_B \rho_2} \qquad (20)$$

unde s-a notat $s_{p+1} = s_A$

Relațiile (15), (16) și (20) stau la baza calculului treptelor de pornire, respectiv a rezistențelor corespunzătoare.

Astfel:

— fie se alege k_{M2} și rezultă, din relația (16), valoarea ρ_2 a rației, iar din relația (20) numărul de trepte;

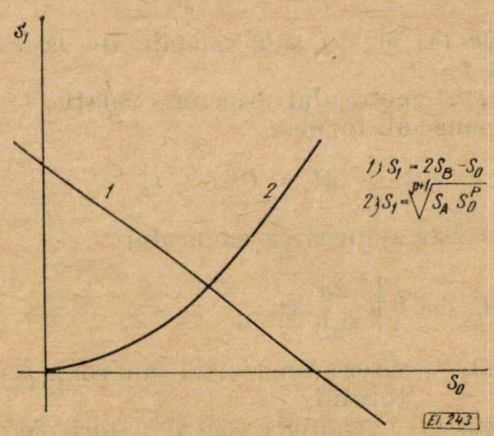


Fig. 3. Reprezentarea grafică a funcțiilor: $s_1 = 2s_B - S_0$ și $s_1 = \sqrt[p+1]{s_A s_0^p}$

— fie se alege numărul p de trepte — caz frecvent în exploatare, cînd controlerul e dat — și se calculează celelalte elemente:

se obține, din relația (20), ecuația:

$$2 s_B \rho_2^{p+1} - s_A \rho_2 - s_A = 0 \qquad (21)$$

care poate fi rezolvată în raport cu ρ_2, sau se obţine din (17) respectiv (14) şi (15) ecuaţiile:

$$s_1 = 2s_B - s_0 \tag{22}$$

$$s_1 = \sqrt[p+1]{s_A s_0^p} \tag{23}$$

care se reprezintă grafic fiecare ca o funcţie de s_0. Intersecţia acestor două funcţii (fig. 3) determină alunecările s_0 şi s_1 şi deci raţia ρ_2.

2.4. Pentru perioada cu acceleraţie medie, variabilă (porţiunea OA din figura 2) se observă următoarele:

— alunecarea s_A fiind calculată pe considerente de acceleraţie şi şoc mediu, coeficientul de neuniformitate k_{M1}, al acestei perioade — pentru un număr întreg de trepte p şi ν — este în general diferit de coeficintul k_{M2} al perioadei cu acceleraţie constantă (în fig. 2, $k_{M1} < k_{M2}$);

— valoarea raţiei $\rho = \dfrac{R_{p+1}}{R_p}$ dintre ultima rezistenţă a primei perioade şi prima rezistenţă a celei de a doua perioadă este diferită de raţiile ρ_1 şi ρ_2 a celor două perioade.

Şi în acest caz se poate scrie:

$$\frac{R_\nu}{R_{\nu-1}} = \frac{s'_{k\nu}}{s'_{k\nu-1}} = \rho_1. \tag{24}$$

Din figura 2 se vede că:

$$\frac{s'_{k\nu}}{s_\nu} = \frac{M_k}{|M_{\min}|_\nu}; \quad \frac{s'_{k\nu-1}}{s_\nu} = \frac{M_k}{|M_{\max}|_\nu}, \tag{24}$$

adică:

$$\frac{s'_{k\nu}}{s'_{k\nu-1}} = \frac{|M_{\max}|_\nu}{|M_{\min}|_\nu} = \rho_1,$$

sau:

$$\rho_1 = \frac{1 + k_{M1}}{1 - k_{M1}}. \tag{25}$$

De asemenea, din relaţiile:

$$\frac{1}{s_\nu} = \frac{|M_{\max}|_{\nu+1}}{|M_{\min}|_\nu}; \quad \frac{s_\nu}{s_{\nu-1}} = \frac{|M_{\max}|_\nu}{|M_{\min}|_{\nu-1}}; \ldots;$$

$$\frac{s_{p+2}}{s_A} = \frac{|M_{\max}|_{p+2}}{|M_{\min}|_A}$$

$$\frac{1}{s_\nu} = \frac{s_\nu}{s_{\nu-1}} \cdot \frac{s_{\nu-1}}{s_{\nu-2}} \cdots \frac{s_{p+2}}{s_A} =$$

$$= \frac{|M_{\max}|_{\nu+1}}{|M_{\min}|_A} \cdot \left(\frac{1 + k_{M1}}{1 - k_{M1}}\right)^{[\nu-(p+1)]},$$

adică:

$$\frac{1}{s_A} = \frac{|M_{\max}|_{\nu+1}}{|M_{\min}|_A} \rho_1^{[\nu-(p+1)]}$$

şi

$$|M_{\max}|_1 = M_r(1 + k_{M1})$$

$$|M_{\min}|_A = M_{\text{med }2}(1 - k_{M1})$$

se obţine:

$$\frac{1}{s_A} = \frac{M_r}{M_{\text{med }2}} \rho_1^{(\nu-p)}. \tag{26}$$

Cu relaţiile (24), (25) şi (26) se pot calcula toate elementele treptelor de rezistenţă din prima perioadă a pornirii.

Dacă se alege k_{M1} [4], din relaţia (25) rezultă valoarea raţiei ρ_1 iar din relaţia (26) numărul de trepte $(\nu - p)$ al primei perioade de pornire.

Dacă se alege numărul de trepte $(\nu - p)$ din relaţia (26) rezultă raţia ρ_1, iar din relaţia (25) coeficientul de neuniformitate.

Valoarea alunecărilor se obţine din ecuaţiile:

$$\frac{s_\nu |M_{\max}|_{\nu+1}}{s_{\nu+1}(1 - k_{M1})} = M_r + C\sqrt{1 - s}, \tag{27a}$$

$$\frac{s_{\nu-1} |M_{\min}|_\nu}{s_\nu (1 - k_{M1})} = M_r + C\sqrt{1 - s_{\nu-1}}, \tag{27b}$$

$$\frac{s_{p+2} |M_{\max}|_{p+3}}{s_{p+3}(1 - k_{M1})} = M_r + C\sqrt{1 - s_{p+2}}, \tag{27c}$$

unde:

$$s_{\nu+1} = 1;$$

$$|M_{\max}|_{\nu+1} = M_r(k_{M1} + 1);$$

$$|M_{\max}|_\nu = (M_r + C\sqrt{1 - s_\nu})(1 + k_{M1});$$

$$|M_{\max}|_{p+3} = (M_r + C\sqrt{1 - s_{p+3}}(1 + k_{M1})$$

ce pot fi uşor rezolvate succesiv în raport cu s_ν, $s_{\nu-1} \cdots s_{p+3}$, s_{p+2}.

3. Exemplu de calcul

În cazul acţionării mecanismului de translaţie al unui pod rulant, se cunoaşte: $\theta = 21{,}2$ kgm²; $M_r = 300$ Nm; $a = 0{,}5$m/s²; $\Omega_0 = 78{,}5$ rad/s; $R_0 = 0{,}076\ \Omega$; $M_k = 1960$ Nm; $s_{k0} = 0{,}259$; $k_0 = 0{,}0177$.

Se alege: $\dfrac{d^2v}{dt^2} = 0{,}4\dfrac{m}{s^3}$, $p = 4$, $\nu = 7$. Se calculează cu relaţiile (9), (10), (7), (8) şi (19), mărimile: $t_A = 1{,}25$ s; $M_{\text{med }2} = 896$ Nm; $C = 1260$ Nm; $s_A = 0{,}775$s; $s_B = 0{,}0622$. Din relaţiile (22) şi (23) se obţine $s_0 = 0{,}045$ $s_1 = 0{,}079$ şi deci $\rho_2 = 1{,}755$. Rezultă din (16) mărimea $k_{M2} = 0{,}272$.

Pentru perioada cu acceleraţie variabilă rezultă din (26) raţia $\rho_1 = 1{,}569$ şi din (25) $k_{M1} = 0{,}222$ iar din relaţiile (27) alunecările: $s_\nu = s_7 = 0{,}982$; $s_{\nu-1} = s_6 = 0{,}912$; $s_{\nu-2} = s_{p+1} = 0{,}775 = s_A$.

Celelalte elemente ale treptelor, inclusiv rezistenţele corespunzătoare, se calculează, — cunoscînd elementele de bază de mai sus — conform relaţiilor din literatura clasică de specialitate.

4. Concluzii

Calculul rezistenţelor de pornire după această metodă este simplu şi uşor de efectuat.

Cu rezistenţele de pornire astfel calculate, se poate realiza o acceleraţie variabilă progresiv crescătoare, iniţial impusă.

Metoda are aplicaţii la acţionarea podurilor rulante care transportă metal lichid, a macaralelor care ridică şi transportă sarcini la care se necesită un balans redus, la podurile rulante de montaj şi în general în toate cazurile unde se necesită porniri line fără şocuri mari.

Bibliografie

[1] *Braşovan, M.* Acţionări electromecanice, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1967

[2] *Turcu, I.* Pornire cu acceleraţie variabilă în tracţiune electrică urbană. În: Buletinul ştiinţific şi tehnic al IPT, tom 12/26 fasc. 2, 1967, p. 601—613,

[3] *Liveanu, N.* Denumirea cuplului mediu de pornire la motoarele asincrone cu inele. În: Electrotehnica, 16, nr. 2, 1968.

[4] *Turcu, I.* Contribuţii la pornirea cu acceleraţie variabilă a tramvaielor (disertaţie) Timişoara, 1967.

[5] *Boţan, N. Bejan, I.* şi *Balaban, E.* Curs de acţionări electromecanice şi automatizări, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1962.

Congresul Electricienilor din Cehoslovacia

Societatea de Electrotehnică din Republica Socialistă Cehoslovacă organizează la Gottwaldov, în zilele de 23—25 mai 1970, Congresul Electricienilor din Cehoslovacia.

Lucrările Congresului vor avea loc în trei secţii de specialitate: secţiile electrotehnică, electronică şi produse noi.

Consiliul naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor roagă specialiştii din ţara noastră, care doresc să prezinte comunicări în cadrul acestui Congres, să comunice, pînă la data de 15 ianuarie 1970, titlul lucrărilor propuse a fi înscrise în programul congresului, pe adresa: Consiliul Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor, Calea Victoriei nr. 118, etaj. I, Bucureşti.

Totodată, facem cunoscut cititorilor revistei despre intenţia CNIT de a organiza prin Oficiul Naţional de Turism o excursie de 7 zile cu ocazia Congresului, pentru un grup de specialişti care pot fi însoţiţi şi de soţiile lor. Costul pentru o persoană este de circa 1 600 lei pentru care se prestează: transportul cu trenul, masă, cazare şi circa 150 lei pentru cheltuieli personale.

Persoanele care doresc să participe la excursie vor comunica pînă la 15 ianuarie 1970 pe adresa menţionată. Alte amănunte privind participarea la excursie şi la congres vor fi comunicate ulterior.

Ing. P. Filimon

RECENZII

CZ 621. 319

F. Liebscher şi W. Held. **Condensatoare** (Kondensatoren). Berlin, Springer-Verlag, 1968, 334 pag.

Autorii cărţii au fost în decursul unui timp îndelungat absorbiţi în munca de proiectare şi fabricare a condensatoarelor de putere şi pot fi consideraţi pe drept cuvînt specialişti necontestaţi în acest domeniu. Ca o consecinţă a acestui fapt, apare mai puţin curioasă şi frapantă axarea lucrării lor în special pe condensatoarele de hîrtie pentru aplicaţii în circuitele de forţă. În acelaşi timp, titlul cărţii apare prea cuprinzător pentru un material în care doar 10% din condensatoarele discutate şi analizate nu sînt de hîrtie, dar acceptînd această unilateralitate ca un fapt firesc, deliberat, şi nu ca pe o carenţă, se poate afirma că lucrarea este bine concepută şi subiectul tratat la un nivel ştiinţific ireproşabil.

Lucrarea începe cu o scurtă introducere în teoria materialelor dielectrice, care este orientată spre fenomenele ce au loc în hîrtia impregnată cu lichid, precum şi spre o descriere a materialelor ce se folosesc la fabricarea condensatoarelor de putere. În continuare, se efectuează o analiză detaliată şi riguroasă a comportamentului condensatoarelor de putere sub influenţa curentului continuu şi al curentului alternativ. De asemenea, sînt analizate fenomenele de descărcare parţială ale condensatoarelor, precum şi consecinţele creşterii temperaturii. Proiectarea propriu-zisă a condensatoarelor de putere este abordată cu o deosebită competenţă şi minuţios analizată. O atenţie deosebită este acordată problemei creşterii interne a temperaturii, precum şi problemei stabilităţii termice, strîns legată de prima dintre problemele menţionate. Metodele de încercare ale condensatoarelor, care sînt discutate de către autori, permit sortarea condensatoarelor, fără distrugerea condensatoarelor care nu sînt defectate în timpul încercărilor.

Lucrarea cuprinde un capitol aparte, consacrat aplicaţiilor condensatoarelor, care se concentrează asupra utilizării acestora pentru ameliorarea factorului de putere în circuitele de forţă, precum şi pentru formarea unor impulsuri de curent sau tensiune de valori mari. Un spaţiu relativ restrîns este acordat condensatoarelor electrolitice, cu ceramică şi pelicule de plastic.

O bibliografie remarcabilă poate fi utilizată pentru procurarea unor date utile care nu şi-au găsit loc în vastul material al cărţii.

Ing. *A. Silard*

Z 681. 3:611. 313. 333. 001. 24

R. Herschel. **Indrumar pentru utilizarea pratică a limbajului ALGOL 60** (Anleitung zum praktischen Gebrauch von ALGOL 60). Munchen, Wien. R. Oldenbourg Verlag, 1968, 192 pag.

Această carte apare în momentul în care se înregistrează o expansiune a calculatoarelor digitale în industrie, în laboratoarele de cercetare, în şcolile tehnice superioare şi în economie. Mulţi specialişti din industrie sau din cercetare, încep să se intereseze de utilizarea calculatoarelor digitale şi implicit de limbajele de programare, printre care ALGOL 60 joacă un rol privilegiat. Dar în definitiv ce este ALGOL 60? ALGOL 60 (denumire prescurtată de la ALGO rithmic Language) este un limbaj de programare care este „înţeles" de toate calculatoarele digitale moderne şi care deci nu este legat de un anumit tip de calculator digital. El este foarte versatil, ceea ce-i conferă o largă răspîndire. De aceea este util ca toţi inginerii să se iniţieze în ALGOL 60.

Lucrarea autorului german, cunoscut specialist în domeniul automaticii şi al calculatoarelor, îşi propune nu atît elucidarea unor probleme de finete matematică care elaborarea unor reguli de utilizare practică a limbajului de programare ALGOL 60. Ea este divizată în 13 capitole.

Primul capitol (de altfel introductiv) se intitulează „Ce este ALGOL?" şi cuprinde în afară de definiţii şi o scurtă istorie a dezvoltării ALGOL-ului din 1959 şi pînă în 1968.

„Elemente de ALGOL", este titlul capitolului 2, în care se dau şi se explică asemenea noţiuni ca : simbolurile limbajului ALGOL, reprezentarea numerelor în ALGOL, denumiri pentru variabile, expresii aritmetice şi reprezentarea lor în ALGOL, în funcţii standard (cum ar fi : ABS (X) = = (X) SIN (X), COS (X), LN (X), EXP(X), SQRT(X) = $+\sqrt{X}$, SIGN (X), şi altele) şi indicatori. Practic acest capitol conţine cam tot ce trebuie să ştie utilizatorul despre ALGOL, dar nu şi cum se utilizează acest limbaj. Acest lucru este explicat în capitolele 3—12.

Desigur cititorul mai grăbit se poate rezuma la citirea capitolului 3, care tratează despre construcţia (elaborarea) unui program şi despre corectarea erorilor de programare. Dar el va fi desigur în imposibilitatea de a elabora singur programele de calcul de care are nevoie, fără a parcurge şi celelalte capitole care lămuresc o serie de probleme importante, legate de utilizarea limbajului de programare ALGOL. Aceste probleme sînt în ordine : instrucţiune de salt („GOTO") şi mărcile, instrucţiunile condiţionale („IF" A „THEN" B), instrucţiunea de ciclare, foarte utilă în calculul de iteraţie, cîmpuri, variabile logice, structura blocurilor, proceduri propriu-zise şi proceduri de funcţii. Desigur aici sînt necesare şi unele observaţii complementare, pe care autorul le redă în partea finală şi care se referă la expresiile condiţionale, la distribuitoare, la cuvîntul simbol „WHILE" şi la procedurile „CODE".

Lucrarea se încheie cu enumerarea unor proceduri primite şi distribuite de către Federaţia internaţională de prelucrarea informaţiei (IFIP), cu o bibliografie, o listă de simboluri şi o anexă cuprinzînd regulile limbajul ALGOL 60.

Lucrarea este valoroasă atît prin tema deosebit de interesantă la ora actuală, cît şi prin modul de tratare, concis, sistematic, ţinînd seamă de nevoile practice ale utilizatorilor diverşi. Dar, atragem atenţia că, la citirea unei astfel de cărţi, cititorul nu trebuie să piardă nici un moment din vedere că, de fapt el învaţă un nou limbaj. De aceea el trebuie să învingă inerţia, existentă la mulţi oameni, de a învăţa un nou limbaj şi să studieze temeinic regulile noului limbaj şi modul său de aplicare. Acest lucru este facilitat de lucrarea dr. R. Herschel, prin numeroasele şi inspiratele exemple de aplicaţii practice, care însoţesc textul. Acesta este motivul pentru care ne-am gîndit că ea merită să fie prezentată specialiştilor, ingineri şi cercetători, electrotehnicieni, care prin natura preocupărilor lor sînt, sau vor deveni utilizatori de calculatoare digitale moderne.

Ing. *Florin Stănciulescu*

CZ 621. 314. 001. 3

Iu. V. Safroskin. **Caracteristicile tranzitorii şi stabilitatea stabilizatoarelor de tensiune şi curent** (Perehodnîie harakteristiki i ustoicivosti tranzistornîh stabilizatorov napriajeniia i toka). Moscova, Editura Energhia, 1968, 168 pag.

Existenţa unei multitudini de lucrări de specialitate, consacrate stabilizatoarelor de curent şi tensiune, nu a reuşit să epuizeze unele aspecte importante ale problemei, cum ar fi caracteristicile de frecvenţă şi caracteristicile tranzitorii ale stabilizatoarelor, stabilitatea acestora, precum şi o serie de chestiuni interdependente cu cele menţionate, cum ar fi problemele de interes crescînd al fiabilităţii stabilizatoarelor. Acest fapt se aplică în cea mai mare parte prin complexitatea problemelor legate de dinamica proceselor în stabilizatoare, precum şi prin existenţa posibilităţii de a rezolva, pe cale empirică, în primele etape ale proiectării unele chestiuni mai dificile. Dar metodele empirice s-au dovedit arareori optime şi din această cauză au putut fi aplicate doar în primele etape de dezvoltare ale schemelor cu stabilizatoare. În prezent însă, cînd cerinţele ce se impun aparaturii electronice şi electrotehnice complexe în ceea ce priveşte calitatea şi fiabilitatea dezvăluie din plin influenţa asupra acestora a surselor de alimentare, problemele menţionate reclamă o analiză sistematică, minuţioasă şi multilaterală. Acestei teme îi este consacrată lucrarea de faţă.

Autorul lucrării prezintă rezultatele investigațiilor teoretice și experimentale privind diversele variante de stabilizatoare de curent și tensiune. O atenție deosebită se acordă în carte problemelor legate de procesele tranzitorii la acțiunea unei sarcini de impuls, stabilității stabilizatoarelor la autoexcitare, precum și investigării proceselor de relaxare în stabilizatoare cu protecție la suprasarcini.

Problemele generale abordate în lucrare sînt analizate și ilustrate prin exemple de o complexitate crescîndă. Pornind de la premisa că schemele folosite în practică pot fi realizate atît pe baza structurilor serie, cît și pe baza structurilor paralel, în cele mai multe cazuri materialul este prezentat sub formă comparativă a schemelor serie și paralel apropiate ca clasă. Acest mod de prezentare a materialului are menirea să sublinieze competitivitatea stabilizatoarelor de tip paralel, care în practica cotidiană sînt adesea pe nedrept ocolite.

Problemele abordate de autor sînt repartizate în trei capitole și două anexe. În introducerea relativ amplă ce precede primul capitol al lucrării, autorul abordează analitic unele metode de investigare ale circuitelor de stabilizatoare. La sfîrșitul introducerii sînt prezentați și discutați parametrii transistoarelor, diodelor Zener și cele ale condensatoarelor, care au fost folosite în circuitele experimentale descrise.

Primul capitol al cărții, intitulat „Procese tranzitorii la acțiunea unei sarcini de impuls la ieșirea stabilizatorului" este împărțit în 10 subcapitole. Sînt abordate funcțiile tranzitorii și caracteristicile etajelor singulare de stabilizatoare, problemele formării proceselor tranzitorii optime, iar pentru tratarea caracteristicilor tranzitorii ale stabilizatoarelor cu mai multe etaje se recomandă o tratare simplificată. Dintre factorii ce influențează procesele tranzitorii sînt discutați parametrii paraziți ai condensatoarelor de ieșire precum și timpii de creștere, durata și frecvența impulsului de curent asupra procesului tranzitoriu. Subcapitole separate sînt rezervate examinării neliniarităților existente și stabilizatoarelor de curent.

Al doilea capitol este consacrat analizei stabilității circuitelor cu mai multe etaje. Este abordată problema construirii și analizei caracteristicilor de frecvență rezultate din calcul, concomitent cu analiza caracteristicilor experimentale. Un subcapitol aparte este consacrat circuitelor de corecție.

Ultimul capitol are ca temă protecția stabilizatoarelor. Sînt trecute în revistă metodele de protecție existente. Sînt detaliat analizate regimurile statice și dinamice ale unui circuit complex de protecție.

În prima anexă a lucrării sînt analizate circuitele de forță ale stabilizatoarelor. Este discutată folosirea unor elemente ale circuitelor de forță, cum ar fi redresorul, filtrele și transistoarele de putere. A doua anexă analizează unele scheme practice ale surselor de alimentare stabilizate, unele din ele fiind concepute și proiectate de autor.

Textul lucrării este însoțit de un vast material bibliografic, din care un număr destul de mare de brevete din perioada 1965—1967. Unele lucrări citate în bibliografie pot furniza o serie de date suplimentare interesante, care ar putea facilita o proiectare independentă.

De o utilitate incontestabilă pentru proiectarea cotidiană, cartea lui Safroșkin ar putea fi deosebit de utilă și studenților din ultimii ani ai facultăților de electronică și electrotehnică. Fără a pretinde o epuizare a subiectului abordat, lucrarea este fără îndoială o contribuție interesantă și originală la studiul proceselor dinamice în stabilizatoare.

Ing. *Andrei Silard*

REFERATE

CZ 518. 4. 001. 2

Vișinescu, T. **Analiza rețelelor pasive cu ajutorul grafurilor neorientate.** În: Lucrările ICPE, nr. 20, 1968, p. 119—124, 16 fig., 4 ref. bibl.

Una dintre metodele moderne ale teoriei circuitelor este metoda grafurilor. În prezent se folosec mai multe tipuri de grafuri și anume: grafurile de semnal introduse de Mason, grafurile de transfer introduse de Coates, grafurile cu noduri logice introduse de Shelly, grafurile cu transferanțe neliniare introduse de Bickart, garfurile de programare introduse de Mac Farlane și grafurile bidirecționale introduse de Robichand care cuprind drept caz particular — grafurile neorientate. Principalul avantaj al grafurilor propuse de Mac Farlane și de Robichand este acela că ele se pot stabili direct din schema circuitului analizat, fără a fi necesară scrierea sistemului de ecuații asociat acestuia.

Acest articol are un caracter de informare și se referă la folosirea grafurilor neorientate. După ce se precizează terminologia utilizată, se prezintă și se exemplifică procedeul topologic cunoscut de stabilire a parametrilor Z și Y ai dipolilor și cuadripolilor reciproci, pasivi. Pentru a se putea evidenția simplitatea și eleganța metodei grafurilor neorientate față de metoda analitică, aceiași parametri Z și Y se determină și prin metoda potențialelor în noduri formulată matricial.

Al. C.

CZ 621. 3: 678

Bumann, H. **Electrotehnică în mașinile de spălat rufe** (Elektrotechnik bei Waschmaschinen). În: ETZ-B, nr. 3, 1968, p. 52—55, 2 fotogr. 1 secț., 2 graf.

Principalul element al mașinilor moderne de spălat îl constituie un ax cu came. Într-o secțiune sînt arătate opt din principalele operații electrice sau electronice comandate de aceste came: intrarea apei în aparat, reglajul nivelului apei, conductibilitatea soluției (concentrația) cu ajutorul unui electrod pus la pămînt etc. Sînt discutate apoi diferitele motoare electrice ale diferitelor sisteme de mașini de spălat (motoare cu condensatoare, motoare cu inversarea sensului de rotație etc.). Mașinile, care realizează, pe lîngă spălat și alte operații (de exemplu scrobitul) sînt înzestrate cu mai multe ventile de intrare, care în mometul oportun sînt deschise sau închise prin electromagneți individuali.

Deosebit de importantă este energia electrică folosită la încălzitul apei și în special reglajul și menținerea acestei temperaturi, care variază în funcție de țesătura în cauză și de faza operației de spălat. Pentru acest reglaj se face în general uz de fenomenele fizice (cum ar fi variația lungimii sau a rezistenței electrice în funcție de încălzire), care, la rîndul lor, acționează întreruptoarele. În două grafice este arătată variația temperaturii apei (soluției) în timpul diferitelor faze (înmuiatul, spălatul, clătitul, storsul) într-un astfel de automat programat. În mașinile ultramoderne s-au introdus în scopurile de mai sus dispozitive cu semiconductoare și transistoare.

După diferitele operații de spălat, a căror durată este comandată automat în funcție de materialul prelucrat, urmează storsul, care — realizîndu-se prin forța centrifugală — necesită turații mai mari decît celelalte operații. În acest scop mașina este înzestrată fie cu două electromotoare diferite, fie cu un motor cu poli comutabili cu 2/12 pînă la 2/24 poli. Pentru uscat se recomandă mașini separate (cu diametrul mai mare) care, tot pe cale electrică produc aerul cald și tirajul.

Gh. C.

CZ 621. 3. 072. 2: 621. 315. 3

Dan, I. Șerbănescu, B., Șerbu, V. și Hornea, S. **Stabilizatoare de tensiune cu amplificatoare magnetice** (Transduktorgeregelte Spannungskonstanthalter für Wechselstrom). În: Lucrările ICPE, nr. 20, 1968, p. 41—47, 13 fig., 5 ref. bibl.

Stabilizatoarele de tensiune cu amplificatoare magnetice se folosesc la puteri cuprinse între circa 1 000 kVA și cîțiva kVA, în sisteme monofazate și trifazate. Stabilizatoarele

trifazate se realizează de obicei din trei stabilizatoare monofazate, cu o singură buclă de reglare sau cu trei bucle independente, cîte una pentru fiecare din cele trei faze în cazul în care funcționarea are loc în regim puternic dezechilibrat.

În lucrare, după ce se prezintă succint trei scheme de stabilizatoare de tensiune monofazate și trei scheme de stabilizatoare trifazate, realizate cu amplificatoare magnetice, se indică perfomanțele obținute cu ultima dintre scheme, care a fost realizată de autori pentru o putere de 10 kVA. Schema realizată de autori conține trei stabilizatoare monofazate și trei bucle independente de reglare, cîte una pe fiecare fază. Un avantaj al schemei este acela că ea nu conține transformator de adaptare. Menținerea valorilor de referință pentru cele trei bucle de reglare independente se face cu o precizie de 0,1% cu ajutorul unor scheme transistorizate. Pentru fiecare fază în parte există cîte un potențiometru de corecție a tensiunilor. Limitarea curentului de scurtcircuit se face automat prin premagnetizarea miezului amplificatorului magnetic final. Filtrarea realizată este suficientă, asigurîndu-se un conținut în armonici de numai 3%, deci sub cel admis de 5%. Tensiunea la ieșire este menținută constantă cu o abatere maximă de ± 1% la o variație a tensiunii rețelei între + 10% și −15% și la o variație a încărcării de la gol la valoarea nominală.

Al. C.

CZ 621. 313. 32. 001

Holland, D. și Russell, G. T. **Generator de armonice de putere** (A harmonic power generator). În : Electronics Power, The Journal of the IEE, **15**, ianuarie 1969, p. 17—20, 5 fig.

Armonicele au o deosebită importanță în multe aplicații practice, dar metodele de evaluare a efectelor acestora sînt fie costisitoare, fie operații cu un volum mare de muncă. În acest context, autorii abordează diverse aspecte ale efectelor armonicelor de putere asupra diferitelor dipozitive și instalații (în particular, asupra echipamentelor de comunicații) și argumentează necesitatea efectuării acestui studiu.

În continuare, este discutată construcția unui generator de armonice de putere al firmei Thorn Automation Ltd, care poate da semnale de ieșire de putere ridicată pentru 10 frecvențe fundamentale (40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 500 Hz) și care conțin armonice impare pînă la cea de a 13-a.

Instalația este compusă dintr-un sintetizor de frecvențe și o pereche de amplificatoare, care pot produce un semnal de ieșire monofazat sau trifazat de 2 kVA pentru oricare din cele 10 frecvențe fundamentale. Se prezintă o schemă-bloc a amplificatorului de putere cu cele două căi (pozitivă și negativă) ale reacției. De asemenea, este reprodusă schema-bloc a sintetizorului, precum și formele de undă la ieșirea acestuia. Sînt discutate unele aspecte teoretice ale rezultatelor experimentale obținute cu acest generator. Formele de undă la ieșirea generatorului sînt examinate multilateral, relevîndu-se o serie de particularități ale acestora.

A. S.

CZ 621. 313. 32. 013. 001. 3

Leung, W. S., Shih-Jung, Y. și Htsui, J. S. **Un nou sistem de excitație pentru alternatoarele sincrone** (A new excitation systeme for synchronous alternators). În : IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, nr. 1, 1969, p. 72—77, 9 fig. 20 ref. bibl.

Generatoarele sincrone cu înfășurări de excitație pe ambele axe rotorice se pare că vor avea șanse din ce în ce mai mari în energetica viitorului. Un nou tip de astfel de sistem este prezentat în articolul de față, înfășurările rotorice fiind alimentate de la o excitatoare cu trei perii mobile. Un sistem de servomecanism antrenează un colier special astfel încît în orice moment condițiile de funcționare ale mașinii sincrone să fie optime.

Autorii prezintă un studiu al stabilității dinamice al noului sistem în cazul funcționării generatorului în paralel cu un sistem de putere infinită, cît și în cazul în care generatorul este principala sursă de putere în sistem. Se obține funcția de transfer al întregului grup generator sincron-servomecanism-excitatoare și se prezintă comparativ caracteristicile dinamice ale unei mașini clasice și ale celei îmbunătățite, rezultatele reliefînd o creștere simțitoare a stabilității și a unghiului maxim de oscilație.

Articolul se încheie cu o serie de discuții purtate de specialiști ai domeniului, prezentîndu-se o trecere în revistă a tuturor realizărilor teoretice și experimentale în construcția mașinilor sincrone cu înfășurări de excitație în cuadratură.

R. M.

CZ 621. 313. 33: 621. 314. 57: 621. 381. 34

Lipo, T. A. și Krause, P. C. **Analiza stabilității unui motor asincron alimentat printr-un redresor-invertor.** (Stability analysis of a rectifier-invertor induction motor drive). În : IEEE. Transactions on Power Apparatus and Systems, nr. 1, 1969, p. 55—66, 19 fig., 20 ref. bibl.

La frecvențe scăzute de alimentare, motorul asincron se comportă ca un element oscilant, instabil, fenomen deosebit de supărător în special în noile instalații comandate prin invertoare cu frecvență variabilă. În diversele acționări a devenit un lucru obișnuit utilizarea pentru alimentarea mașinilor de inducție grupul redresor-invertor, grup ai cărui parametri electrici influențează stabilitatea întregului sistem.

Autorii prezintă analiza unui astfel de caz, ținînd seamă de trei elemente principale : reactanțele sursei, reactanța de netezire dintre redresorul comandat și invertor, precum și capacitatea de filtraj dintre aceste două unități. După ce se scriu ecuațiile de funcționare ale întregului sistem : sursă — redresor — filtru — ondulor — mașină asincronă, se aplică criteriul de stabilitate Nyquist pentru micile deplasări, ecuațiilor liniarizate în jurul unui punct de funcționare. Deoarece forma tensiunii produsă de invertor aproximează destul de bine sinusoida, iar influența armonicelor superioare asupra stabilității este neglijabilă în ecuațiile respective se iau în considerație doar fundamentele curentului și tensiunii.

Studiile au fost făcute asupra unui motor de 6 kW, 60 Hz, comparînd datele obținute pe un calculator numeric și cele ridicate experimental. Cele două rezultate care coincid arată posibilitatea apariției de oscilații periculoase aproximativ de 20 Hz la schimbări bruște de sarcină, instabilități cu atît mai pronunțate cu cît filtrul are parametrii mai coborîți.

R. M.

CZ 621. 315. 92: 621. 38

Scott, W. J. **Sticla în circuitele integrate** (Glass in integrated circuits). În : Electronics & Power. The Journal of the IEE 15, martie 1969, p. 94—95.

În Europa, acum 30 de ani, Von Ardenne a conceput, iar Loewe a realizat primul circuit electronic integrat. El se compunea din filamente, grile, anoduri, rezistențe și condensatoare, conectate adecvat între ele și plasate într-un balon de sticlă, prin care treceau terminalele acestui original circuit integrat. În prezent, elementele active ale circuitelor integrate de siliciu sînt și ele închise într-o capsulă minusculă din sticlă, compusă în cea mai mare parte din oxid siliconic vitrifiat. Specialiștii ocupați în tehnica circuitelor integrate continuă să se refere la ele folosind cuvîntul „Oxid".

În continuare, autorul abordează tehnologia de fabricare a sticlei de oxid. Cînd siliciul pur este încălzit în oxigen uscat, se formează un strat de sticlă de siliciu pur, care are o temperatură de călire de 1 160 °C, definită la o viscozitate precisă. Dacă procesul de încălzire are loc în vapori, sticla astfel formată este un amestec de hidroxizi și oxizi de siliciu și are o temperatură de călire mai joasă, de aproximativ 980°C. Se arată în continuare că sticla cu impurități de pentaoxid de fosfor sau/ și /alumină, deși micșorează temperatura de călire a sticlei astfel obținute, are o serie de proprietăți remarcabile.

Se trec apoi în revistă diversele întrebuinţări ale sticlei în contextul apariţiei circuitelor integrate la Fairchild şi Texas Instruments în 1959. În încheiere, autorul remarcă perspectivele de folosire a sticlei semiconductoare în circuitele integrate moderne. Această sticlă omogenă şi necristalină poate fi privită, după cum scrie autorul, ca „o soluţie concentrată a unui conductor electronic într-un solvent izolator de sticlă".

A. S.

CZ 621. 318. 12:538. 116

Heimke, G. **Ceramica magnetică. Producerea şi feritele tehnice** (Magnetkeramik-Herstellung und technische Ferrite). În : ETZ-B, nr. 4. 1968, p. 77—79, 1 schemă de fabricaţie, 1 tablou cu ferite, 2 graf.

Realizarea magneţilor ceramici se aseamănă foarte mult cu tehnologia ceramicei. Pe cînd însă sinterizarea materialelor clasice ceramice se bazează la ardere pe lichefierea a cel puţin unui component al amestecului, materialele magnetice oxido-ceramice se sinterizează în general prin reacţiile corpurilor solide. Luîndu-se ca bază însuşirile fizice ale materialelor, sînt discutate însuşirile tehnice cele mai importante ale corpurilor. Domeniile de utilizare indicate pe scurt dovedesc că ceramica—cel mai vechi produs anorganic — poate fi sub forma sa actuală de magneto-ceramică şi produsul cel mai modern. În două scheme sînt arătate producerea celor două categorii de magneţi permanenţi oxidici. Feritele dure şi cele moi din punct de vedere magnetic sînt prelucrate după o tehnologie preluată de la ceramică, arătîndu-se pentru fiecare, prin cîte o schemă separată diferite faze de fabricaţie precum şi materialele întrebuinţate.

Într-o tabelă sînt arătate apoi compoziţia, însuşirile şi domeniile de utilizare a cîtorva ferite din magnet moale. Se face apoi o comparaţie între ferite cu însuşirea de a-şi schimba gradul de magnetizare, numindu-se „cu magnetizare moale" şi magneţii metalici. Sînt arătate apoi avantajele feritelor, care se utilizează de exemplu la frecvenţe mai mari de 100 kHz, unde la magneţii metalici devine tot mai dificilă problema ca prin lamelare să fie evitaţi curenţii turbionari. Pe de altă parte în toate cazurile, unde este vorba de transmiterea unor energii ridicate, se arată că sînt de preferat magneţii metalici. Sînt indicate utilizările diferiţilor magneţi şi apoi curbele de demagnetizare ale feritelor magneţilor permanenţi.

Gh. C.

CZ 621. 382. 333. 34

Berezin, A. S. şi Mocialkina, O. R. **Tiristor planar cu structură longitudinală** (Planarnîi tiristor sprodolnoi strukturoi). În : Radioelectrica, **XII**, nr. 3, 1969, p. 267—272, 8 fig. 4 ref. bibl.

Investigaţiile descrise s-au axat pe studiul proprietăţilor şi caracteristicilor tiristorului planar cu structură longitudinală care în literatura de specialitate este privit ca un element apt pentru circuitele integrate. În acest context sînt amintite cele două metode tehnologice existente în prezent pentru fabricarea tiristoarelor pentru circuitele integrate : tripla difuzie şi metoda care permite obţinerea tiristorului cu aşa-numita „structură longitudinală", căruia îi este consacrat articolul de faţă. Astfel, este descrisă structura unui tiristor în întregime planar şi sînt prezentate rezultatele investigării parametrilor statici şi ai timpilor de comutaţie. Un loc deosebit este rezervat caracteristicilor voltamperice ale unui asemenea tiristor. Este prezentat un grafic cu valori numerice, ilustrînd dependenţa coeficientului de blocare al tiristorului de curentul prin sarcină. Procesul de comutaţie al tiristorului este ilustrat cu oscilogramele tensiunii în cadrul procesului de aprindere şi stingere. Pentru două exemplare de tiristoare sînt prezentate graficele funcţiilor timpului de blocare de curentul în stare de conducţie şi de tensiunea inversă.

S-a analizat şi stabilitatea termică a tensiunii de comutare a tiristorului şi sînt prezentate rezultatele experimentale.

Investigaţiile efectuate au arătat că într-o structură longitudinală pnpn se pot obţine : tensiuni mici pe tiristorul în conducţie, curenţi mici de comandă, un coeficient de blocare de o valoare relativ mare şi o stabilitate termică ridicată a tensiunii de comutare. Totodată, tiristorul cu structura longitudinală posedă o serie de neajunsuri, printre care o viteză redusă de comutare şi curenţi mari de blocare. Dar aceste neajunsuri pot fi depăşite, conchid autorii, prin schimbarea configuraţiei geometrice a structurii, în particular prin micşorarea grosimii bazei groase.

A. S.

CZ 648. 345—83

Schaller, H. **Automate moderne de spălat vasele** (Moderne Geschirr spülautomaten). În : ETZ-B, nr. 3, 1968, p. 55—57, 1 tab., 1 schiţă, 3 fot.

Este descrisă evoluţia acestor maşini datorită tehnicii comenzilor electrice : diferitele sisteme, creşterea randamentului concomitent cu scăderea dimensiunilor. Prima maşină a fost realizată în 1865 pentru ca — după diferite alte încercări în Europa şi în S. U. A. — să apară în 1913 o astfel de maşină acţionată electric. Urmează apoi descrierea diferitelor sisteme şi a modului lor de funcţionare, insistîndu-se la toate capitolele asupra maşinilor mici, necesare unei singure gospodării. Într-un tablou este indicat consumul în kWh pentru un spălat, cantitatea de apă necesară, durata operaţiei etc. Electromotoarele servesc fie la producerea presiunii apei (electropompe), care iese prin duzele unui dispozitiv, rotindu-le prin contrapresiune, fie la rotirea directă a acestui dispozitiv. Puterea unei maşini normale variază între 1,6 şi 3,6 kW. Toate operaţiile sînt automatizate. Există, de exemplu şi un dispozitiv, care reglează duritatea apei, prevăzut şi acesta cu o lampă de semnalizare. În ultimul timp s-a reuşit a se realiza carcasa şi întregul dispozitiv interior din material plastic, superior în acest caz chiar oţelului inoxidabil. În încheiere se relevă faptul că obiectele spălate şi uscate în aceste maşini conţin — conform analizelor — de 100 de ori mai puţine bacterii decît în cazul spălatului cu mîna.

Gh. C.

CZ 697. 278

Saran, H. **Încălzirea electrică a încăperilor prin dispozitive de acumulat căldură** (Elektrische Raumheizung mit Speicherheizgeräten). În : ETZ—B, nr. 3, 1968, p. 58—60, 1 fig., 4 fig., 2 graf., 1 tab.

Încălzirea încăperilor prin aparate de acumulat căldura se introduce tot mai mult deoarece prezintă avantaje faţă de încălzitul cu combustibili minerali : este igienică, nu produce fum, necesită o deservire simplă şi este uşor adaptabilă cerinţelor. Primele brevete au apărut în 1923 şi au fost puse în practică în primul rînd în Elveţia datorită preţului scăzut al energiei hidraulice şi făcîndu-se uz de tariful redus din timul nopţii (între orele 22 şi 6.) La început se lucra cu blocuri relativ mari din materiale ceramice încălzite electric. Faza următoare au reprezentat-o prin 1940 (în Austria) „sîmburii acumulatori de înaltă temperatură", care se încălzeau pînă la 600 °C şi erau îmbrăcaţi într-un „strat de limitare". Astfel s-a reuşit ca volumul vechilor sobe-acumulatoare să fie redus în proporţia 7 : 1 iar greutatea lor să fie redusă la a cincea parte.

Se deosebesc trei categorii de acumulatoare termice : La prima categorie căldura este difuzată prin radiaţie şi convecţie, la a doua categorie prin radiaţie şi curent de aer cald iar la a treia categorie lucrează ventilatoare şi clapete reglabile pe cale termostatică. Această din urmă categorie de 1,5—8 kW păstrează căldura 10—12 ore fără mari pierderi, racordîndu-se în mod automat în timpul tarifului redus şi declanşîndu-se tot automat în timpul zilei. Tot pe cale automată se menţine într-o încăpere oarecare temperatura reglată de la un tablou central.

O astfel de sobă-acumultor este descrisă în amănunt, arătîndu-se într-o figură, modul de funcţionare, într-un grafic, timpul de încărcare şi de descărcare statică (prin radiaţie) şi dinamică (prin ventilatoare) în funcţie de căldura acumulată iar într-un tablou, numărul de kW necesari diferitelor spaţii (m^3). Apoi, un dispozitiv electric sau electronic instalat pe un perete exterior al clădirii reglează tot automat — în funcţie de temperatura exterioară — temperatura, la care trebuie încălzit acumulatorul de căldură din locuinţă. În încheiere se arată evoluţia din ultimii ani a acestor sobe electrice furnizate.

Gh. C.

SCURTE ŞTIRI

Cea mai mare maşină de produs hîrtie pentru ziare din lume a fost construită în Suedia în 1967 de către firma Holmens Brucks och Fabriks AB. La o lăţime de 9 m viteza maximă a hîrtiei este de 1 000 m/min. Producţia anuală maximă este de 150 000 t hîrtie de ziar.

Din : ETZ-B, nr, 7/8, 1969

Trenurile au atins viteza de 177 km/h pe porţiunea electrificată dintre New-York şi Washington, şi urmează să crească în curînd la 200 km/h. În faza următoare trenurile compuse din cîte şase automotoare, înzestrate fiecare cu cîte patru motoare a 600 CP vor circula cu 258 km/h.

Din : ETZ—B, nr. 7/8, 1969

Un sistem de mare precizie pentru măsurarea temperaturilor înalte îl reprezintă un procedeu ,,laser'' cu reflexie. Faţă de sistemele existente cu erori pînă la 100 % noul dispozitiv dă erori mai mici de 1 %. Aparatul se compune dintr-un ,,laser'' cu heliu-neon, ca sursă de lumină, o sferă evacuată de 35 cm diametru, o bobină de inducţie şi un detector.

Din : ETZ-B, nr. 9, 1969

Un aliaj de sticlă-metal cu o rezistenţă superioară sticlei a fost realizat după un procedeu nou. Materialul poate fi sudat, sudura fiind complet etanşă.

Din : ETZ-B, nr. 3, 1968

Un electromotor minuscul de 50 mW cu o greutate de 4 g a fost realizat de ,,Philips'' şi serveşte pentru anumite cercetări ale ochilor.

Din : ETZ-B, nr. 3, 1968

Instalaţia pentru distilarea apei din mare cea mai mare din lume şi care lucrează numai cu căldura solară, se găseşte pe insula Patmos din Grecia. Posedă o suprafaţă de evaporare de circa 8 700 m^2 şi produce în medie 26 m^3 de apă dulce pe zi.

Din : ETZ-B, nr. 3, 1968

Un acumulator alcalic cu fier-aer acumulează 155 Wh pe kg de baterie pe cînd celelalte acumulatoare cunoscute acumulează doar 10—12 Wh pe kg de baterie. Electrolitul conţine 20—45 % hidroxid de potasiu.

Din : ETZ-B, nr. 3, 1968

O mică sintetică fabricată de ,,Micalex Corp. of America, Clifton N. J., S. U. A., rezistă la temperatura de 1 000 °C faţă de 600 °C la mica naturală. Din noul material se realizează plăci şi piese presate.

Din : ETZ-B, nr. 3, 1968

Tot mai multe poduri din Anglia sînt prevăzute cu încălzire electrică, reducîndu-se astfel considerabil numărul accidentelor de circulaţie în timpul poleiului sau zăpezii.

Din : ETZ-B, nr. 4, 1968

O maşină de şlefuit controlează pe cale electronică diametrul exterior al piesei prelucrate. Maşina prezintă două puncte de contact permanent cu suprafaţa şlefuită, realizîndu-se astfel ca la diametrii de 6—120 mm precizia să fie 1,3 μm.

Din : ETZ-B, nr. 4, 1968

Primul cablu japonez submarin de transmisiuni va lega localităţile Muroran şi Mori. Avînd 900 circuite, va poseda o capacitate mai mare ca toate celelalte cabluri submarine din lume. Va intra în serviciu în septembrie 1969.

Din : ETZ-B, nr. 6, 1969

Un reactor de probă lucrează în Oak Ridge National Laboratory (S. U. A.) cu uraniu 233 producînd o putere de 8 MW. Uraniu 233 este un izotop produs pe cale sintetică şi se figurează asemănător cu uraniul natural.

Din : ETZ-B, nr. 6, 1969

Laser de putere cu bioxid de carbon. Specialiştii de la Services Electronics Research Laboratories din Anglia au demonstrat că laserul cu bioxid de carbon — azot — heliu, poate furniza o putere de două ori mai mare decît puterea maximă obţinută anterior cu un laser similar. În experienţa efectuată, plasma a fost excitată într-un volum format între două tuburi coaxiale cu ajutorul unui cîmp radial, iar o putere adiţională a fost procurată de la un cîmp longitudinal existent între electrozii interni. Puterea la ieşirea acestui laser a fost de 550 W.

Din : Electronics & Power, mart 1969

Indicaţiile unui aparat automat de măsurat cantitatea de ploaie în Des Moines/Jawa, S. U. A. pot fi transmise în orice moment printr-un fir telefonic diferitelor staţiuni meteorologice.

Din : ETZ-B, nr. 3, 1968

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. şt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. şt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. şt. tehn. V. CORLĂŢEANU; ing. ŞT. GROSU; prof. dr. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; conf. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTIANA POPESCU; ing. VL. POPOVICI; acad. prof. dr. doc. şt. tehn. ing. R. RĂDULEŢ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista "ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare şi publicaţii tehnice al M.I.C.M., cu sediul în Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon redactor şef: 14.90.27. Redacţia: Bucureşti, str. Mândineşti, nr. 3, sector IV; telefon secretar general de redacţie: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon: 16.21.70 interior 173. Instituţiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 40060300 Banca Naţională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, Bucureşti. Tarif pentru instituţii şi întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informaţia", Bucureşti, str. Brezoianu, nr. 23 — 25, c. 3968. *Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 10/10275/1968*

E 2040

SUMAR ŞI INDEX ALFABETIC DE AUTORI

ANUL XVII, 1969

SUMAR

1. **CZ 061.3. Colectivităţi. Congrese**

CZ 061. 3 : 621. 3 (498. 11. I. P.B.)

1. 1. *Sesiunea ştiinţifică festivă la Institutul politehnic „Gh. Gheorghiu-Dej" din Bucureşti* (Cronică : Carabulea, A.).
1, 42—43

CZ 0621. 3 : 621. 3 „1969"

1. 2. *Tîrgul de primăvară de la Leipzig — 1969* (Cronică : Dumitriu, M).
2, 83

CZ 061. 3 : 621.3 (498) CIGRÉ „1970"

1. 3. *Sesiunea CIGRÉ — 1970* (Cronică : Groza, L.).
4, 162—163

2. **CZ 53. Fizică**

CZ 537. 525 : 538 : 67 : 532. 5

2. 1. Nicolaide, A.: *Producerea energiei electrice pe cale magnetohidrodinamică* (Recenzie : Tănăsescu, Fl.).
9,362—363

CZ 538. 632 : 537 : 311.33 : 621 . 3. 013

2.2 De Sabata, I. şi Daba, D. *Cîmpul Hall al curenţilor turbionari din plăci semiconductoare plasate transversal în cîmp magnetic omogen şi variabil în timp.*
4, 125—130

2. 3. Referate : 9(1) ; 11(1)

3. **CZ 621. 3. Electrotehnică generală**

CZ 621. 3(05)

3. 1. Astuni, E. : Elettrotecnica, I, II (Recenzie : Nedelcu, N. V.).
3, 120

CZ 621. 3. 011 : 538. 551. 23 : 681. 322

3. 2. Stănciulescu, Fl. : *Probleme privind electrotehnica circuitelor şi mediilor neliniare şi rezolvarea lor prin procedee de calcul digital.*
1, 1—10

CZ 621. 3. 011. 001. 24 : 537. 212

3. 3. Andreescu, M : *Determinarea prin iteraţie a soluţiei ecuaţiei lui Poisson, pentru un cîmp plan, în domeniul cuprins între două cercuri concentrice.*
6, 205—210

CZ 621. 3. 013. : 538. 12

3. 4. * * * *Cîmpuri magnetice întinse* (Recenzie : Silard, A.).
11, 439—440

CZ 621. 3. 014. 32 : 538. 323

3. 5. Suciu. I : *Forţele electrodinamice care solicită sistemele trifazate cu conductoarele echidistante în spaţiu pe durata tranzitorie de scurtcircuit.*
6, 210—217

CZ 621.313. 333.1—573 : 621. 3. 077. 14

3. 6 Turcu, I.: *Cu privire la calculul rezistenţelor de pornire la motorul trifazat de inducţie cu inele.*
12, 466—470

CZ 621. 3. 015. 4 : 621. 3. 018.33

3. 7. Popescu, I. şi Simion, Al.: *Unele aspecte ale rezonanţei în circuitele electrice neliniare serie.*
5, 165—169

CZ 621. 3. 015. 532

3. 8. * * * *Descărcări parţiale în izolanţi* (Recenzie : Carabulea, A.).
6, 241

CZ 621. 3. 018. 7 : 517. 512. 2 : 681. 322

3. 9. Manciu, T.: *Programarea analizei armonice Thomson Runge la calculatoare electronice mici.*
2, 45—46

CZ 621. 3. 042.1 : 621. 318.23

3. 10. Cupşa, A. şi Boghiu Corina : *Calculul unor circuite magnetice cu magneţi permanenţi şi dispersie repartizată.*
4, 149—159

CZ 621. 3. 066. 6 : 546. 78 : 621, 318, 512 : 629

3. 11. Pîrligras Ecaterina, Minea Silvia şi Antoni, C. : *Studiul comportării contactelor de wolfram de la releele regulatoare auto în prezenţa substanţelor organice în medii cu umiditate ridicată.*
5, 186—190

CZ 621. 3. 066. 6 : 621. 3. 017. 7. 001. 24

3. 12. Hortopan, Gh., *Relaţii noi privind încălzirea contactelor electrice.*
9, 344—349

3.13. Referate : 1(2); 5(2) : 6(2) ; 12(1)

4. **CZ 621.311 Centrale electrice. Instalaţii de alimentare cu energie electrică**

CZ 621. 311. 163—53.004.4

4. 1. Creţa, V. : *Grupuri electrogene cu funcţionare automată utilizate ca grupuri de intervenţie.*
6, 217—223

4. 2. Referate : 5(2) ; 11(1); 12(2)

5. **CZ 621, 312. Industria electrotehnică**

CZ 621. 312 : 33(498)

5. 1. Mihulecea, C : *Industria electrotehnică — factor de importanţă deosebită în dezvoltarea tuturor ramurilor economiei naţioanle.*
7—8, 245—251

CZ 621. 312 (498) „1945/1969"

5. 2. Vlădoianu, R.: *Realizări în industria electrotehnică.*
7—8, 252—256

CZ 621. 312 : 621. 316.56. 027.7. 004. 2

5. 3. Ogrezeanu Şt. *Controlul calităţii fabricaţiei aparatajului de înaltă tensiune.*
6, 224—231

6. **CZ 621. 313 Maşini electrice de curent continuu şi alternativ. Generatoare. Motoare**

CZ 621. 313. 1. 012. 7

6. 1. Niculescu, D. şi Crăciunescu, A.: *Folosirea grafurilor la prezentarea unitară a teoriei maşinilor electrice.*
4, 130—136

CZ 621. 313. 1. 042. 1

6. 2. Lăzăroiu, D. F. : *Maşini electrice cu inerţie redusă* (Recenzie : Bichir, N.).
10, 400

CZ 621. 313. 1. 045. 8. 001. 24

6. 3. Vächter, T. : *Metoda de calcul a umplerii crestăturilor la maşinile electrice bobinate cu conductoare rotunde.*
2, 50—52

CZ 621. 313. 13. 003. 1

6. 4. Ţepeluş, P. : *Contribuţii privind determinarea costului motoarelor electrice.*
3, 89—97

CZ 621. 313. 13. 017. 7 : 621. 34

5.6. Bogoevici, N : *Verificarea la încălzire a motoarelor electrice de acţionare în cazul unor variaţii aleatorii staţionare ale parametrilor de funcţionare.*
3, 85—89

CZ 621. 313. 17 : 621. 312

6. 6. Lăzăroiu, D. F. și Șlaiher, S. : *Stadiul actual și perspective în fabricația de micromotoare.*
7—8, 257—268

CZ 621. 313. 236. 3.001. 415

6. 7. Huțanu, C. : *Încercările experimentale ale unei autodine.*
10, 373—380

CZ 621. 313. 3. 012. 6

6. 8. Nedelcu, N. V. : *Regimuri de funcționare ale mașinilor de curent alternativ* (Recenzie : Corlățeanu, V.).
1, 37—38

CZ 621. 313. 30

6. 9. Danielevici, I. B., Dombrovski, V. V. și Kazovski, E : *Parametrii mașinilor de curent alternativ* (Recenzie : Șofan, E.).
2, 79—80

CZ 621. 313. 322. 042. 13 : 621. 3. 011, 3

6.10. Nedelcu, N. V. : *Aspecte noi ale teoriei mașinii sincrone cu poli aparenți.*
12, 441—447

CZ 621. 313. 32. 016. 34/35 : 621. 3. 072. 2

6.11. Zickman, M. : *Reglajul unghiului rotoric, domeniul de aplicație și cerințe impuse instalațiilor de excitație a generatoarelor sincrone.*
1, 11—18

CZ 621. 313. 32. 042, 13. 014/54

6. 12. Nicolaide, A : *Studiul experimental al cîmpului electromagnetic în piesele polare masive ale mașinilor sincrone.*
10, 369—373

CZ 621. 313. 322—501. 22. 001. 2

6.13. Crețu, D. și Marini, G. : *Caracteristicile de frecvență ale generatoarelor sincrone și utilizarea lor în cercetare și exploatare.*
11, 405—412

CZ 621. 313. 322—573. 042. 13

6. 14. Nicolaide, A. și Căruțașu, I. : *Caracteristicile de pornire ale mașinilor sincrone cu poli aparenți masivi.*
11, 413—421

CZ. 621. 313, 333

6.15. Tanatar, A. I. : *Metode de reglare a vitezei motoarelor asincrone* (Recenzie : Silard, A.).
9, 363

CZ 621. 313, 1, 047 : 621, 314. 63

6.16 Măgureanu. R. : *Mașini electrice cu comutație electronică.*
12, 447—455

CZ 621. 313. 333—531. 6. : 621. 337. 522

6.17. Topa, I. : *Reglarea vitezei motoarelor asincrone prin recuperarea energiei de alunecare pe cale mecanică*
12, 455—461

Z 621. 313. 333. 018. 46. 044. 61 : 621. 3. 013. 5. 016.1

6.18. Bompa, L. : *Studiul influenței alunecării și numărului perechilor de poli, asupra cîmpului electromagnetic din cuplajul asincron, folosind mașinile cifrice*
9,329—339.

CZ 621. 313. 333. 1 : 621. 315. 53

6.19. *Asupra articolului „Criterii de calitate privind turnarea coliviilor de aluminiu pentru motoarele asincrone în scurtcircuit"* de ing. Cota, Al., Crihană, G. și Chivăran, C. (Discuții : Ionescu, M.).
2, 78—79

CZ 621. 313. 333. 3 : 621. 312

6. 20 Berberianu, Al. : *Evoluția seriei unitare de motoare asincrone normale.*
7—8, 269—275

CZ 621. 313. 32 — 712. 2 : 621. 372. 1

6. 21. Crăciunescu, Al. A. și Bucurenciu, Al. S. ; *Folosirea metodelor de transfigurare la calculul circuitelor de ventilație ale mașinilor electrice.*

12, 461—466

CZ 621. 313. 37. 012. 1 : 621. 314. 242. 011. 1

6. 22. Nedelcu, N. V. : *O nouă teorie a motorului reactiv.*
5, 170—178

CZ 621. 313. 52

6. 23. V. Del Toro : *Instalații electromecanice pentru conversia energiei și comanda sistemelor* (Recenzie : Măgureanu, R.).
10, 399

6.24 Referate 1(5) ; 2(7) ; 3(1) ; 5(3) ; 6(3) ; 9(4) ; 10(6) ; 11(1) ; (12(2) ;

7. CZ 621. 314. Transformarea energiei electrice. Transformatoare. Convertizoare. Redresoare. Comutatrice

CZ 621. 314. 2 : 621. 312

7. 1. Liculescu. M. Cîrstea, D., Răducanu, I. și Marinescu, A. : *Realizări și perspective în fabricația de transformatoare de putere.*
7—8, 276—287

CZ 621. 314. 2. 072. 2

7. 2. Natrașevschi, A. și Avram, C. : *Transformator pentru varierea continuă a tensiunii sub sarcină.*
9, 340—344

CZ 621. 314. 2. 027. 81 : 621. 3. 014. 3

7. 3. Zickman, M. : *Oportunitatea realizării transformatoarelor coboritoare seria 110 kV cu tensiune de scurtcircuit mărită.*
5, 179—186

CZ 621. 314. 211/212. 027. 84 : 621. 317. 333

7. 4. Mathé, B : *Calculul solicitării izolației transformatoarelor de înaltă tensiune și mare putere cu borna de intrare la mijlocul înfășurării.*
1, 18—24

CZ 621. 314. 222/223. 046. 81/82

7. 5. Mathé, B. : *Solicitarea și nivelul de izolație al transformatoarelor și autotransformatoarelor de 400 kV.*
11, 430—438

CZ 621. 314. 223. 3. 014

7. 6. Safroskin, Iu. V.: *Caracteristicile tranzitorii şi stabilitatea stabilizatoarelor de tensiune şi curent* (Recenzie: Silard, A.),
12, 471

CZ 621. 314. 63

7. 7. Fasol, K. H. *Caracteristicile de frecvenţă* (Recenzie: Stănciulescu, Fl.).
5, 197–198

CZ 621. 314. 63 : 621. 316. 57

7. 8. Silard, A.: *Contactoare statice de curent continuu cu tiristoare bioperaţionale.*
9, 358–361

CZ 621. 314. 63 : 621. 385. 3

7. 9. Labuţov V. A. ş. a. *Invertoare autonome tiristorizate* (Recenzie: Silard, A.).
5. 197

CZ 621. 314. 632 : 621. 3. 85. 3

7. 10. Matlac, I.: *Ecuaţiile convertoarelor de curent continuu cu tiristoare cu circuit de comutaţie oscilant.*
9, 354–357
7. 11. Referate: 1(1) 3(1); 4(4); 5(3); 6(1); 9(2); 10(1); 11(2); 12(1)

8. CZ 621. 315 Transmisia energiei electrice. Linii aeriene. Cable. Conductoare. Materiale izolante. Materiale de instalaţii

CZ 621. 315. 1. 015. 4. 027, 88

8.1. Iordănescu, I. şi Iacobescu, Gh.: *Efectul Ferranti şi influenţa lui asupra supratensiunilor stabilizate la liniile de foarte înaltă tensiune.*
2, 52–57

CZ 621. 315. 2 : 621. 312

8.2. Areşteanu, H. şi Mihăescu, M.: *Dezvoltarea industriei de cabluri şi conductoare din Republica Socialistă România.*
7–8, 288–290

CZ 621. 315. 21. 054. 002 : 621. 311. 1 : 621. 39

8. 3. Cruceru C.: *Tendinţele actuale în construcţia cablurilor electrice de forţă şi telecomunicaţii.*
3. 98–105

CZ 621. 315/316 + 621, 382 : 539. 163

8. 4. Ionescu G. şi Fochianu, V.: *Rezultate noi privind acţiunea radiaţiilor asupra materialelor şi dispozitivelor electronice şi electrotehnice.*
6, 232–240

CZ 621. 315. 5. 017. 7. 001. 24

8.5. Pesici, M.: *Aspectul unei posibilităţi de a determina încălzirea conductoarelor la curenţi intenşi.*
9, 350–353

CZ 621. 315. 6 : 621, 312

8. 6. Macău I.: *Preocupări în diversificarea materialelor electroizolante.*
7–8, 291–295

CZ 621. 315. 614. 64. 017. 143

8. 7. Berinde Violeta şi Stănculescu, V.: *Contribuţii pentru determinarea pierderilor dielectrice la hîrtiile electroizolante.*
10, 381–386

CZ 621, 315. 614. 73 : 621. 315. 616. 96. 002. 4

8. 8. Nicola, Gr: *Influenţa finişului asupra proprietăţilor sticlotextolitului cu răşini fenolformaldehidice modificate.*
3, 106–110

CZ 621. 315. 615 + 618. 015. 51 : 537. 523. 3

8. 9. Tănăsescu, Fl: *Oscilograme caracteristice pentru descărcările parţiale ce se dezvoltă în aer şi ulei.*
1, 24–30

CZ 621. 315. 616. 96. 048. 82. 004. 551. 571

8. 10. Pîrligras Ecaterina, Kemeny Rozalia, Teodorescu Minodora şi Antohi, C.: *Unele aspecte privind utilizarea răşinilor epoxidice la impregnarea echipamentelor electrotehnice care funcţionează în mediu cald-umed.*
2, 57–60

CZ 621. 315. 624. 027. 8. 004. 64

8. 11. Vascan, Th. şi Andreescu, *M. Contaminarea izolatoarelor de înaltă tensiune. Metoda de încercare.*
2, 61–73
8.12. Referate: 3(1); 5(2); 10(1); 11(3)

9. CZ 621. 316 Distribuirea energiei electrice. Reţele. Redeschiderea şi închiderea circuitelor. Reglarea mărimilor electrice. Protecţia aparatelor şi instalaţiilor

CZ 621. 316. 3/9. 027. 2 : 621. 312

9. 1. Cănescu, T. şi State, N.: *Aparatajul electric de joasă tensiune – fabricaţie actuală şi perspective.*
7–8, 296–302

CZ 621. 316. 923, 017. 001. 25

9. 2. Barbu, I.: *Consideraţii asupra fenomenelor staţionare electrice şi termice la funcţionarea siguranţelor cu fuzibile.*
4. 137–143

CZ 621. 316. 923. 1. 001. 24

9.3 Gnedenko, B. V., Beleaev, I. K. şi Soloviev, A. D.: *Metode matematice în teoria siguranţei* (Recenzie: Silard, A.).
10, 400–401

CZ 621. 316. 923. 3. 012. 5

9. 4. Barbu, I., Iancu Maria şi May Elena: *Performanţele siguranţelor rapide cu fuzibile din argint fabricate de CILT.*
10, 386–392

CZ 621. 316. 93. 015. 332

9. 5. * * * *Consfătuirea tehnico-ştiinţifică „Supratensiuni şi protecţia instalaţiilor electrice contra supratensiunilor* (Recenzie: Drăgan, G.).
3, 122–124
9.6. Referate: 2(2); 3(1); 4(1); 6(1); 10(1)

10. CZ. 621. 317 Tehnica măsurilor electrice. Aparate de măsură

CZ 621. 317. 42. 001. 57 : 538. 682

10.1 Şora, C. şi Dobre Silvia: *Studiul cîmpului electric din plăci Hall având o formă oarecare, cu ajutorul unei modelări electrocinetice*
1, 31–36

CZ 621. 317. 43 : 621, 313. 017

10.2 Drăgănescu, Gh. O. : *Metodă pentru măsurarea pierderilor maşinilor electrice.*
11, 424—429

CZ 621. 317. 65 : 621. 313. 322. 016. 352

10. 3. Oprişan, P. : *Determinarea experimentală a unghiului intern la maşinile sincrone în orice regim de funcţionare a acestora.*
11. 421—423
10. 4 Referate : 1(1); 2(3); 4(2); 6(1); 10(2)

11. CZ 621. 318 Aplicaţii industriale ale magnetismului şi magneţilor. Electromagneţi. Relee

CZ 621. 318. 521. 004 : 537. 321

11. 1. Goldimberg, S. : *Relee termobimetalice diferenţiale.*
3, 111—119
11. 2. Referate : 11(1); 12(1)

12. CZ 621. 319. Condensatoare

CZ 621. 319

12. 1 Liebscher F. şi Held, W. : *Condensatoare* (Recenzie : Silard, A.).
12, 471

CZ 621. 319. 7

12.2 Rezvih, K. A. : *Calculul cîmpului electrostatic din aparatura de înaltă tensiune* (Recenzie: Carabulea, A.).
3, 120
12.3. Referate : 1(1); 5(2); 9(1); 10(3)

13. CZ. 621. 32 Iluminatul electric

13. 1 Referate : 6(1)

14. CZ 621. 33 Tracţiune electrică

CZ 621. 335. 2—833, 6 + 721. 335.222 : 621. 312

14. 1 Lehrer, S. şi Enăchescu, A.: *Realizări şi perspective în fabricaţia de locomotive diesel-electrice şi electrice.*
7—8, 303—309

15. CZ 621. 34 Acţionări electrice

CZ 621. 34 :621—52

15.1 Tunsoiu, Gh : *Acţionări şi automatizări electrice* (Recenzie : Fransua, A.).
9, 363—364

16. CZ 621. 36 Electrocăldură

16. 1. Referate : 4(1)

17. CZ 621. 372 Propagarea dirijată a oscilaţiilor electrice
17. 1. Beleţki, A. F.: *Bazele teoriei circuitelor electrice liniare* (Recenzie : Carabulea, A.).
4, 159

CZ 621. 372. 43. 001. 2 : 538. 652

17. 2 Niculescu, T. şi Simionescu Marga: *Precizări cu privire la proiectarea şi construcţia liniilor de întîrziere magnetostrictive.*
2, 73—78

CZ 621. 372. 51 : 537. 311. 33

17. 3. Cristea P. şi Măgureanu, R : *Traductoare fotovoltaice de poziţie şi viteză utilizînd pături subţiri semiconductoare anizotrope pentru comanda maşinilor şi instalaţiilor electrice.*
5, 190—193
17. 4. Referate : 6(1)

18. CZ 621 . 38 Dispozitive electronice

CZ 621. 382

18. 1 Lăzăroiu, D. F. şi Săvescu, M : *Tehnologia de fabricaţie a pieselor radioelectrice* (Recenzie: Millea Mona).
11, 439

CZ 621. 385. 2 : 539. 1. 074

18.2. Poenaru, D. : *Regimul de scurtcircuit al detectoarelor de radiaţii nucleare cu semiconductoare.*
5, 193—196
18. 3. Referate : 6(1) 9(3); 10(1); 11(3); 12(2)

19. CZ 621 791 Lipire, sudare, tăiere

CZ 621. 791. 75 : 621. 312

19. 1. Grosu, Şt., Ionescu, D. şi Popescu, C. : *Tehnica surselor pentru sudarea electrică cu arc.*
7—8, 310—316

CZ 621. 791. 753. 015. 53 : 621, 79

19.2 Nichici, Al. : *Noi aspecte privind influenţa mişcării oscilatorii a elementului asupra proceselor de prelucrare cu scîntei electrice.*
4, 143—149
19.3. Referate : 1(4); 5(1)

20. CZ 628. 94 Corpuri de iluminat

CZ 628. 94 : 621. 326/7 : 621. 312

20.1. Gligorescu, D. *Evoluţia fabricaţiei de corpuri de iluminat electric.*
7—8, 317—321

CZ 629. 113 : 621. 3 : 621. 312

20.2. Trifu, Gh : *Fabricaţia de echipament electric pentru autovehicule şi perspectivele în acest domeniu.*
7—8, 322—328

21. CZ 678 Industria cauciucului şi a produselor similare

21. 1. Referate : 5(1)

22. CZ 681. 3 Calculatoare electronice

CZ 681. 14

22. 1. Herschel, R. : *Îndrumar pentru utilizarea practică a limbajului ALGOL 60* (Recenzie : Stănciulescu, Fl.,).
12

INDEX ALFABETIC DE AUTORI

A

Andreescu, M. : 3. 3, 8. 11
Antohi, C. : 3. 11, 8. 10
Areşteanu, H. : 8. 2
Avram, C. : 7. 2.

B

Barbu, I. : 9.2., 9.4
Berberianu, Al. : 6.20
Berinde Violeta : 8.7
Bichir, N : 6.2
Boghiu Corina : 3.10
Bogoevici, N. : 6.5
Bompa, L. : 6.18
Bucurenciu, S. : *6.21*

C

Carabulea, A. : 1,1, 3.8., 12.2, 17.1
Cănescu, T. : 9.1
Căruţaşu, I : 6.14
Clrstea, D. : 7.1
Corlăţeanu, V. : 6.8
Crăciunescu, A. : 6.1, 6.21
Creţa, V. : 4.1
Creţu, D. : 6.13
Cristea, P. : 17.3
Cruceru, C. : 8.3
Cupşa, A. : 3.10

D

Daba, D. : 2.2
De Sabata, I. : 2.2
Dobre Silvia : 10.1
Drăgan, G : 9.5
Drăgănescu, Gh. : 10.2
Dumitriu, M. : 1.2

E

Enăchescu, A. : 14.1

F

Fochianu, V. : 8.4
Fransua, A. : 15.1

G

Gligorescu, D. : 20.1
Goldimberg, S. : 11. 1
Grosu, Şt. : 19.1
Groza, L. : 1.3

H

Hortopan, Gh. : 3.12
Huţanu, C. : 6.7

I

Iacobescu, Gh. : 8.1
Iancu Maria : 9.4
Ionescu, D. : 19.1
Ionescu, G. : 8.4
Ionescu, M. : 6.19
Iordănescu, I. : 8.1

K

Kemeny Rozalia : 8.10

L

Lăzăroiu, D. F. : 6.6
Lehrer, S. : 14.1
Liculescu, M. : 7.1

M

Macău, I. : 8.6
Manciu, T. : 3.9
Marinescu, A. : 1.7
Marini, G. : 6.13
Mathé, B. : 7.4, 7.5
Matlac, I. : 7.10
May Elena : 9.4
Măgureanu, R. : 6.16, 6.23, 17.3
Mihăiescu, M. : 8.2
Mihulecea, C. : 5.1
Millea Mona : 18.1
Minea Silvia : 3.11

N

Natraşevschi, A. : 7.2
Nedelcu, N. V. : 3.1, 6.10, 6.22
Nichici, Al. : 19.2
Nicola, Gr. : 8.8.
Nicolaide, A. : 6.12, 6.14
Niculescu, D. : 6. 1
Niculescu, T. : 17.2

O

Ogrezeanu, Şt. : 5.3
Oprişan, P. : 10.3

P

Pesici, M. : 8.5
Pîrligras Ecaterina : 3.11, 8.10
Poenaru, D. : 18.2
Popescu, C. : 19.1
Popescu, I. : 3.7

R

Răducanu, I. : 7.1

S

Silard, A. : 3.4, 6.15, 7.6; 7.8, 7.9, 9.3 12.1
Simion, Al. : 3.7
Simionescu Marga : 17.2
State, N. : 9.1
Stănciulescu, Fl. : 3.2, 7.7, 22.1
Stănculescu, V. : 8.7
Suciu, I. : 3.5

Ş

Şlaiher, S : 6.6
Şofan, E. : 6.9
Şora, C. : 10.1

T

Tănăsescu, Fl. : 2.1, 8.9
Teodorescu Minodora : 8.10
Trifu, Gh. : 20.2
Turcu, I. : 3.6

Ţ

Ţepeluş, P. : 6.4
Ţopa, I. : 6.17

V

Vascan, Th. : 8.11
Vlădoianu, R. : 5.2

W

Wächter, T. : 6.3

Z

Zickman, M. : 6.11, 7.3

CONTENTS

DC 621. 313. 322. 042. 13 : 621, 3. 011. 3

Nedelcu, V. N. : **Some new aspects of the theory of the synchronous machine with apparent poles.**

Electrotehnica **17.** nr. 12, dec 1969 p. 441—447

By using the method of the representative it has been possible to render obvious a parameter characteristic to synchronous machines with apparent poles, namely the complex cyclic, ,,inductance'' which has been called ,,complexancy''. The ,,phenomenon of reluctance'' as well as other functional peculiarities of this machine are explained by means of this parameter.

DC 621. 313. 1. 047 : 621. 314 63

Măgureanu, R. : **Electric machines with electronic switching.**

Electrotehnica **17.** nr. 12, dec 1969, p. 447—455

A presentation of machines with electronic switching includes their characteristics and performances, control and feeding systems, present stage and prospects. Different types of small — medium and high-power machines in which the switching is ensured by transistors and tiristors respectively are discussed as well as the utilisation fields and the chances of replacing the classical continuous current machine.

DC 621. 313. 333—531.6 : 621. 337. 522

Topa, I. : **Speed control of asynchronous motors by means of mechanical recovery of the slip energy.**

Electrotehnica **17.** nr. 12, dec 1969, p. 455—461

The equivalent circuit is given as well as the equations of the currents and torque for controlling asynchronous motor by means of mechanical recovery of the slip energy using power silicon diodes. Finally, the experimental results are given in case the recovery motor is an independent excitation d. c. motor and has also a series winding.

DC 621. 313. 32 712. 2 : 621. 372. 1

Crăciunescu, A. and *Bucurenciu, S.* : **The utilisation of the transfiguration methods for calculating the ventilation circuits of electric machines.**

Electrotehnica **17.** nr. 12, dec 1969, p. 461—466

The possibility of extending the transfiguration methods used for simplifying the calculus of linear circuits to the circuits with non-linearities of the type $y = Ax^m$ is discussed. An iterative procedure highly convergent for the calculus of the parameters of subnetworks obtained by triangle-star and star-triangle transfiguration is suggested. Orientative relations are established for the initial values of the parameters from which the iterative calculus has to be started. The method proposed has been used to calculate the ventilation circuit of a hidrogen-cooled 60 MVA synchronous turbogenerator.

DC 621. 313, 333. 1—573 :621. 3. 077.14

Turcu, I. : **Concerning the calculus of starting resistances in three-phase induction motors with rings.**

Electrotehnica **17.** nr. 12, dec 1969, p. 466—470

A calculus method has been worked out for determining the additional resistances in the rotors of three-phase induction motors with rings so that the starting be made with variable acceleration and small shockes. The method is applicable to travelling cranes transporting liquid metal a loads requiring a reduced balancing as well to all drives in which a geatle starting with no big shocks is necessary.

REVIEWS 471
REPORTT 472—475
BRIEF NEWS 475
ALPHABETIC INDEX 476—480

Electroimpex

ELECTROIMPEX — BULGARIA Sofia, str. G. Washington 17, telefon : 88.49.91, telex : 575

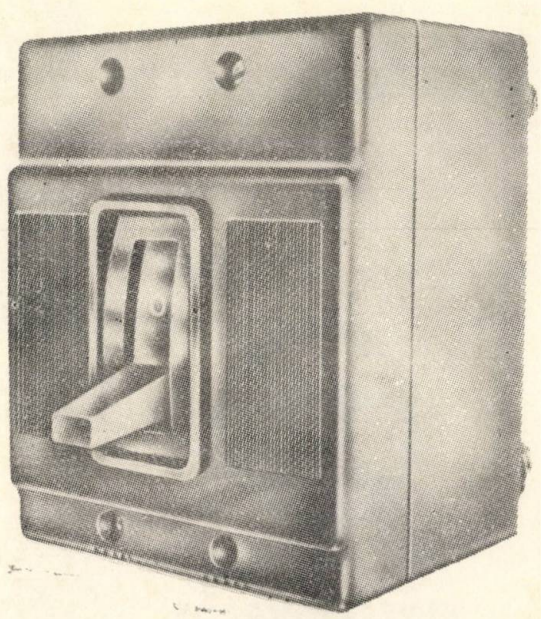
EXPORTĂ:

A. APARATAJ DE JOASĂ TENSIUNE:

— întrerupătoare de putere automate de la 63 pînă la 800 A tipuri A1, A2, A3 şi A4 — confecţionate după licenţa firmei :
— o nouă serie de relee termice pentru protecţia motoarelor electrice pînă la 100 kW — tip RTB ;
— contactoare cu aer pentru curent alternativ de la seria K, pînă la 100 A — tipuri K0, K — 1, K — 2, K — 3 şi K — 5 ;
— demaroare cu aer pentru motoare pînă la 20 kW, execuţie deschisă, închisă şi protejată ;
— comutatoare cu aer stea-triunghi — tip PVZT ;
— demaroare inversoare cu aer — tip PVR ;
— comutatoare şi contactoare cu ulei — tipuri KM—20 şi KM—63, KM — 100, KMR — 63, KMR — 100 şi APM — 40, 100 şi 200 A ;
— comutatoare — pachet pînă la 100 A, execuţie deschisă şi protejată ;
— siguranţe de înaltă putere cu proprietatea de întrerupere peste 100 kVA şi curenţi nominali pînă la 1000 A ;
— o serie de butoane pentru toate necesităţile industriei electrice moderne după licenţa firmei VOIGT & HAEFFNER

B. APARATAJ DE ÎNALTĂ TENSIUNE :

— disjunctoare monopolare şi tripolare pentru montaj acoperit pînă la 35 kV şi pentru montaj deschis pînă la 220 kV ;
— siguranţe tubulare de înaltă putere pînă la 10, 20 şi 35 kV pentru montaj deschis şi închis cu putere de întrerupere pînă la 800 MVA ;
— întrerupătoare cu ulei puţin pentru montaj închis 10, 20 şi 36 kV pînă la 2000 A şi 1250 MVA, seria A, după licenţa firmei EIB — Belgia ;
— întrerupătoare cu ulei puţin pentru montaj deschis pînă la 110 kW, 1500 A şi 5000 mVA, cu acţionare pneumatică şi motor ;
— comutatoare Jansen pentru transformatoare de forţă pînă la 220 kW şi putere pînă la 250 MVA, construcţie proprie şi după licenţa firmei REINHAUSEN-RFG.

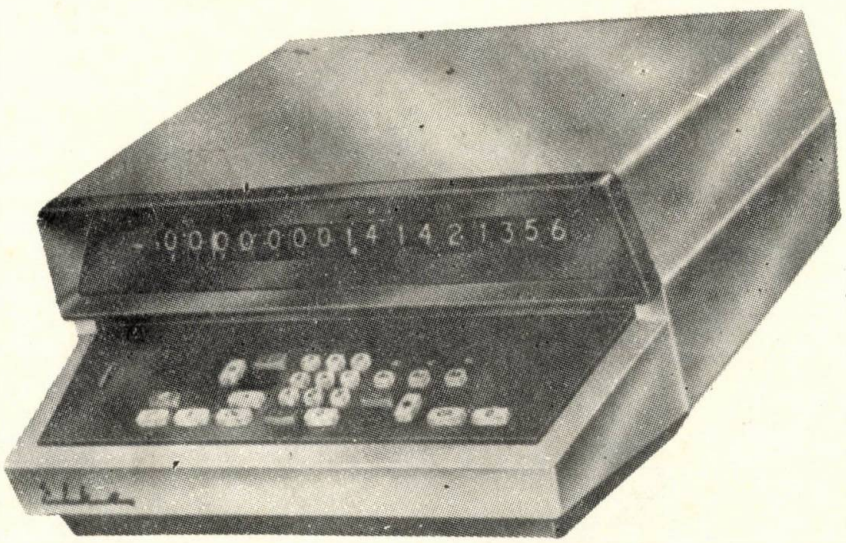


Electroimpex

ELECTROIMPEX – BULGARIA Sofia, str. G. Washington 17, telefon : 88.49.91, telex : 575

OFERĂ MAȘINI ELECTRONICE DE CALCUL „ELCA“ — 21

ELCA 21 :



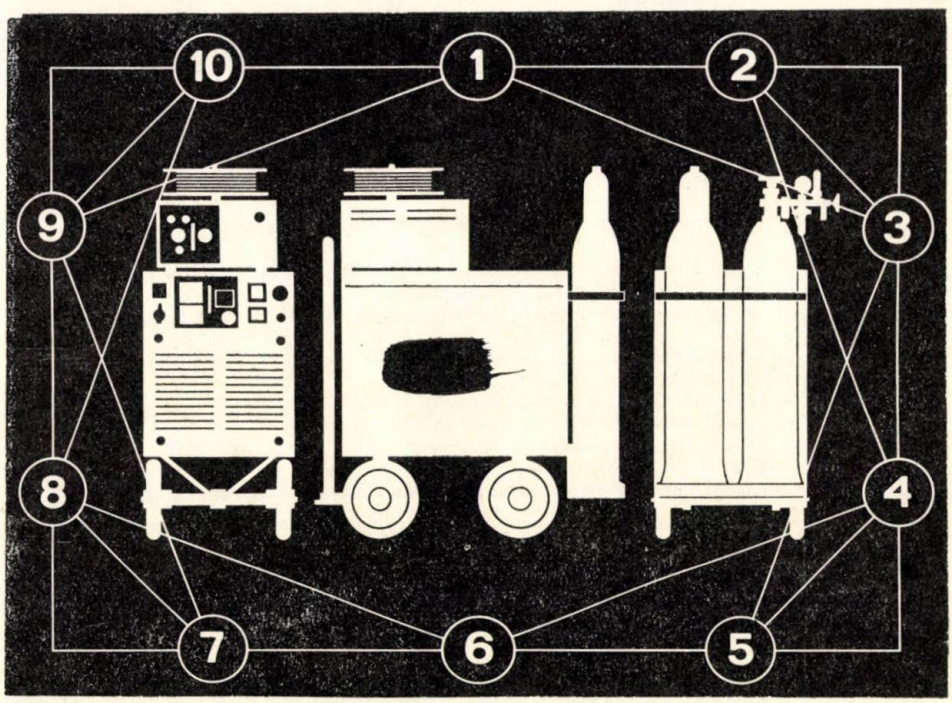
- efectuează adunări, scăderi, extragere de rădăcini cu 16 poziții ;
- înmulțește și ridică la putere cu precizie dublă ;
- adună și scade în trei registre independente ;
- calculează cu precizie fixată anticipat ;
- calculează în mod automat nu numai rezultatele în cifre, dar și semnul aritmetic și locul virgulei zecimale ;
- în cazul manipulărilor greșite întrerupe în mod automat acțiunea ;
- lucrează repede și fără zgomot ;
- se deservește cu o ușurință exclusivă.

UN APARAT DE SUDARE

care satisface numeroase cerințe impuse azi de tehnica modernă în sudură. Mașina compactă de sudură Kjellberg KSM 1 are, pe lîngă alte caracteristici, și avantajul că necesită un spațiu minim în producție, la o rază de acțiune maximă, o deplasare ușoară, viteză mărită de avans a electrodului și posibilitatea de funcționare cu arc voltaic scurt sub CO_2 — MIG cît și sudare sub flux, proprietăți deosebite de sudare prin manete experimentate și un redresor auxiliar de sudură KG 400 VC, cu întrebuințări multiple care poate fi întrebuințat și pentru alte variante tehnologice.

Toate acestea sînt avantaje de care merită să se profite.

Oferim cu plăcere consultațiile noastre.



KJELLBERG ELEKTRODEN&MASCHINEN GMBH IN VERW.
DDR 798 FINSTERWALDE DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

Kjellberg
FINSTERWALDE

Exportator :

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR 104 BERLIN CHAUSSEESTRASSE 111/112

Cei interesați se pot adresa la :
Biroul tehnic-comercial
AHB Elektrotechnik Export—Import
Secția de politică comercială a Ambasadei R.D.G. din Republica Socialistă România
Calea Dorobanților, nr. 14, București.

PUBLICOM

SARCINĂ

Este cunoscut faptul că izolatoarele noastre asigură o izolaţie chiar şi la cele mai înalte tensiuni corespunzînd standardelor internaţionale.

Actualmente am mărit rezistenţa la traeţiune a izolatoarelor — bară pe care le fabricăm.

Garantăm pentru noile tipuri o sarcină de rupere minimă de 16 t f pînă la 22 t f ceea ce este pentru dvs. mai important decît pentru noi, deoarece prin mărirea rezistenţei se micşorează numărul izolatoarelor la lanţurile de întindere, respectiv se creează posibilitatea aplicării tehnicii întinderii pe distanţe mari. (Ne putem imagina cît de exact calculaţi şi cît de mult apreciaţi orice economie).

Datorită formei speciale a nervurii şi a numărului optim de nervuri, izolatoarele-bară sînt deosebit de indicate pentru medii climatice agresive sau pentru locuri expuse contaminării.

Garantăm siguranţă de exploatare în condiţii extreme.
La cerere trimitem material informativ detaliat.

Informaţii se pot obţine prin :
Biroul tehnic-comercial al întreprinderii Elektrotechnik, Secţia de politică comercială a Ambasadei R.D.G. din Republica Socialistă România, Calea Dorobanţilor, nr. 14, Bucureşti.

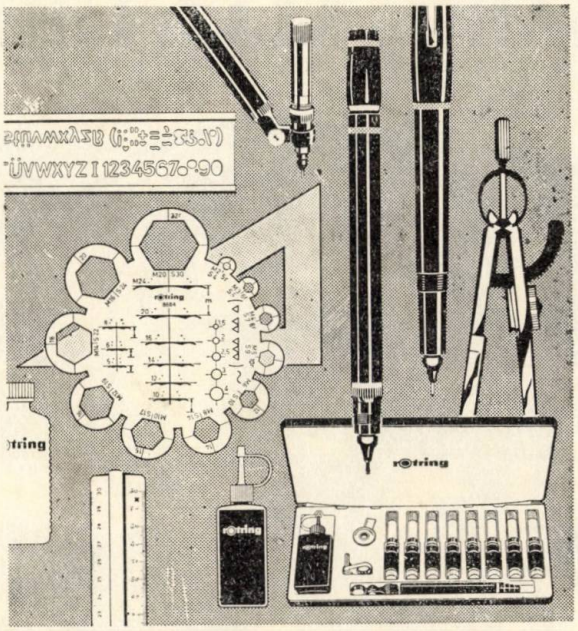
Exportator :

Elektrotechnik
EXPORT – IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK · DDR 104 BERLIN CHAUSSEESTRASSE 111/112

KWH

22.000 kgf

Publicom



rotring
macht das Zeichnen leichter

Pe baza renumitului Tintenkuli a fost dezvoltat stiloul cu tuş Rapidograph, primul stilou cu tuş din lume, cu sistem tubular şi mecanism cu piston, pentru desen tehnic, cu 10 grosimi de linii de la 0,1 la 1,2 mm. Sistemul schimbabil Variant contribuie la o mai bună raţionalizare a lucrărilor de desen. Pot fi realizate **10 grosimi de linii de la 0,1 pînă la 1,2 mm folosind un singur suport.**

Pentru scrierea curată şi exactă, Rotring oferă un sistem variabil Varioscript pentru 16 mărimi de litere de la 1,4 la 20 mm.

Special pentru desenul pe material plastic a fost confecţionat stiloul cu tuş Foliograph pe baza sistemului interschimbabil, cu vîrf de safir, pentru 8 grosimi de linii de la 0,15 la 1,2 mm. De asemenea a fost adoptat pentru tuşuri dizolvante de folii şi solubile în apă. Cu Rotring se poate desena mai uşor — mai repede — mai raţional !

- Asigură o durată lungă de funcţionare datorită vîrfurilor tubulare rezistente la uzură
- Uşurează alegerea grosimii necesare
- Trasează linii uniforme cu margini bine definite
- Asigură lucrări curate
- Are un rezervor de tuş de mare capacitate
- Se reîncarcă în mod simplu
- Se poate curăţa uşor

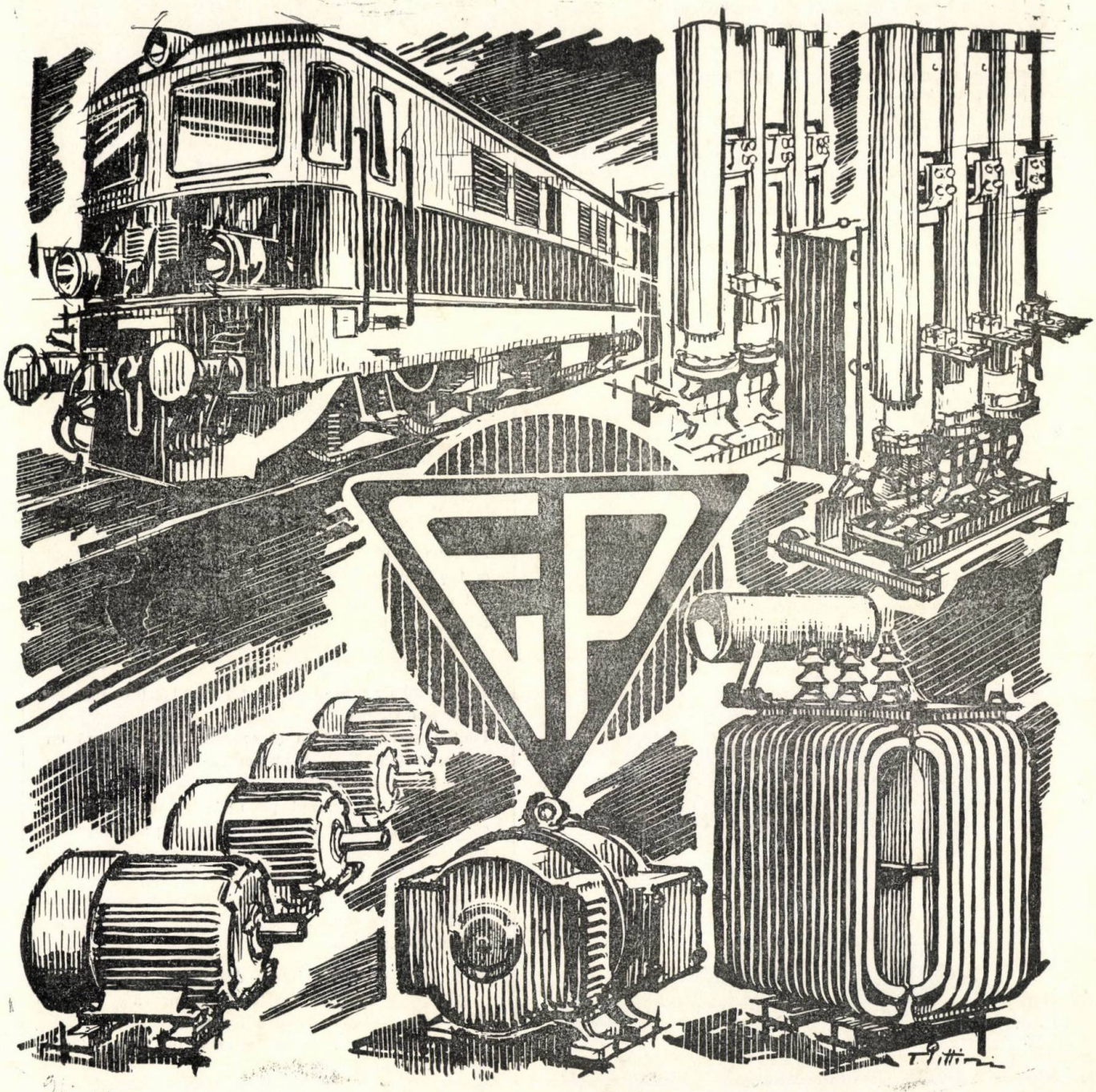
O vastă gamă de instrumente de desen indispensabile în cazurile în care se cere o înaltă precizie : stilou de tuş, tuş de desen, şablon de scris şi desenat, linii, echere, compasuri.

RIEPE—WERK 2 Hamburg—54
POSTFACH 13 529
REPUBLICA FEDERALĂ A GERMANIEI

Vă rugăm cereţi prospecte!

PUBLICOM

UZINA ELECTROPUTERE CRAIOVA



EXECUTĂ PE BAZĂ DE COMENZI FERME:

- Locomotive electrice și diesel-electrice.
- Mașini electrice rotative cu puteri pînă la 1600 kW.
- Transformatoare de putere și autotransformatoare pentru tensiuni pînă la 220 kV inclusiv.
- Aparataj electric de medie și înaltă tensiune pînă la 220 kV inclusiv.
- Produsele au performanțe tehnice ridicate, dimensiuni și greutăți reduse, sînt de calitate superioară și prezintă siguranță în exploatare.
- Pentru amănunte solicitați uzinei prospecte și cataloage, în care puteți găsi date privind caracteristicile tehnice, prețurile și condițiile de livrare.

CALEA BUCUREȘTI Nr. 262 — CRAIOVA

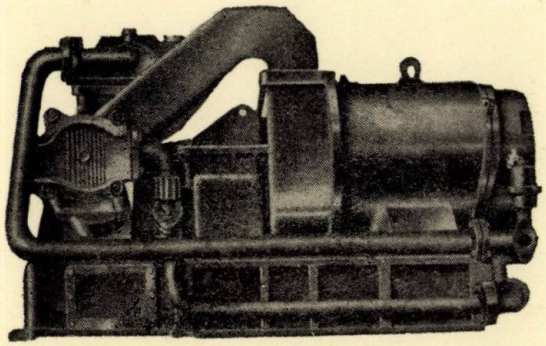
MŰSZAKI KÖNYVTÁR

UZINA DE MOTOARE ȘI COMPRESOARE

Timpuri Noi

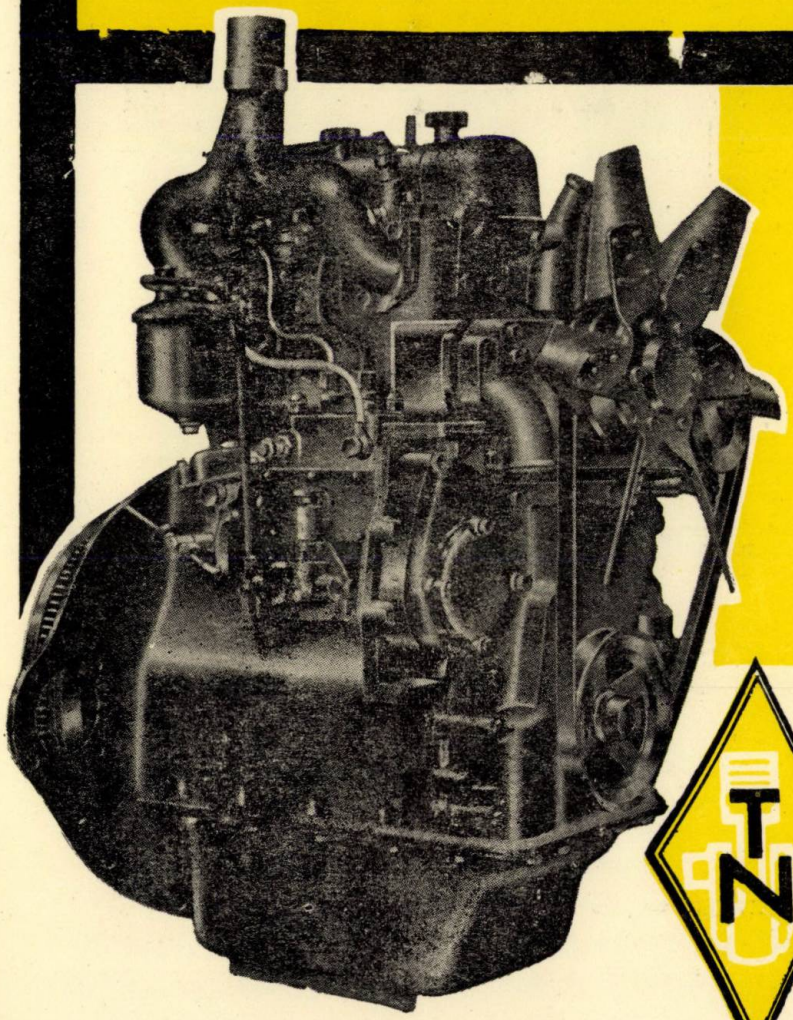
BUCUREȘTI

execută și livrează în țară și străinătate:



Compresoare de aer cu piston, cu debite pînă la 10 m³/min și presiuni de 4—14 kgf/cm² pentru:

- Locomotive
- Troleibuze
- Instalații petroliere
- Șantiere
- Excavatoare
- Garaje
- Automatizări
- Vopsitorii



Motoare diesel cu puteri pînă la 100 CP pentru:

- Utilaje de construcții
- Utilaje pentru agricultură
- Pompe de uz general și speciale
- Generatoare de c.a. și c.c.
- Motoare și motoridicătoare
- Ambarcațiuni
- Utilaje pentru silvicultură

Pentru rezolvarea problemelor dv. privind antrenarea cu motoare diesel industriale și utilizarea compresoarelor de aer cu piston — consultați specialiști uzinei „Timpuri Noi"

INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Din Bucureşti — Bd. T. Vladimirescu 45—47 — telefon 31.41.00.

1970 APR 16

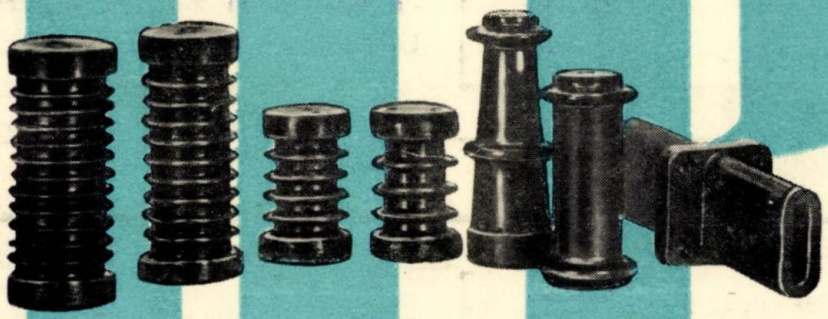
Электротехнический Научно-исследовательский и Проектный Институт

Electrical Engineering and Research Institute

Forschungs-und Proiectierungsinstitut für die Elektroindustrie

Forschungs—und Proiectierungsinstitut für die Electroindustrie.

Institut de Recherches et Projets pour l'industrie Electrotechnique



Primeşte comenzi de cercetare şi proiectare, cu profil electrotehnic.

Institutul execută studii, încercări, omologări şi prototipuri din domeniul maşinilor şi transformatoarelor electrice, aparatelor de joasă şi înaltă tensiune, acţionărilor electrice, climatizării produselor industriale, calculelor cu maşini electronice, materialelor electrotehnice.